

FACULDADE DE ARQUITETURA
UNIVERSIDADE DE LISBOA

SER BIO ARQUI TECH

PARA UMA INTEGRAÇÃO CONSTRUTIVA NA EVOLUÇÃO ECOLÓGICA

Doutoramento em Arquitetura / Especialidade: Teoria e prática do projeto

RICARDO JORGE SOARES MASSENA GAGO

Constituição do Júri:

Presidente: Doutora Maria Madalena Aguiar Cunha Matos

Professora Associada da Faculdade de Arquitetura da Universidade de Lisboa

Vogais: Doutor Mário João Alves Chaves

Professor Associado da Universidade Lusíada de Lisboa

Doutor Victor Manuel Vieira Lopes dos Santos

Professor Associado da Faculdade de Arquitetura da Universidade de Lisboa

Doutor Fernando Coelho da Silva Pinheiro (orientador)

Professor Auxiliar Aposentado da Faculdade de Arquitetura da Universidade de Lisboa

Doutor Mauro Costa Couceiro

Professor Auxiliar convidado do Departamento de Arquitetura da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra

Doutora Maria Elisabete Ferreira Freire

Professora Auxiliar da Faculdade de Arquitetura da Universidade de Lisboa

Doutor Luís António dos Santos Romão (co-orientador)

Professor Auxiliar da Faculdade de Arquitetura da Universidade de Lisboa

Tese especialmente elaborada para a obtenção do grau de doutor

Documento definitivo

Maio, 2016

SER BIO ARQUI TECH

PARA UMA INTEGRAÇÃO CONSTRUTIVA NA EVOLUÇÃO ECOLÓGICA



A investigação foi financiada pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia com a atribuição da bolsa de Doutoramento SFRH/BD/77786/2011.

Título

SER BIO ARQUI TECH

Subtítulo

Para uma integração construtiva na evolução ecológica

RESUMO

A vida biológica é um fenómeno natural que se manifesta no espaço, através de um vasto e diversificado leque de estruturas físicas, espontaneamente integradas na envolvente. A total abrangência desta qualidade pelas mesmas pressupõe a partilha de um processo de desenho comum. As estratégias de desenho ecológico implementadas atualmente na arquitetura, não permitem obter estruturas com semelhante habilidade. A causa desta diferença, assenta essencialmente em divergências ao nível do desenho.

Esta investigação visa a aproximação do processo de desenho de conceção ecológica ao das estruturas vivas, em termos de essência geométrica. Para tal, propõe transferir qualidades morfológicas dessas estruturas para a forma arquitetónica, através de um processo de desenho generativo fundamentado em princípios de organização biológica (crescimento). A transferência dessas qualidades é feita mediante a construção de uma ferramenta de desenho. Esta descodifica o padrão geométrico da morfologia biológica, recorrendo à linguagem geométrica e algébrica das gramáticas da forma. A sua aplicação permite a implementação do padrão num diversificado leque de soluções de intuíto arquitetónico. A sua presença aufere às soluções, certas qualidades geométricas da morfologia biológica, tais como: equilíbrio evolutivo, simplicidade estrutural, fluidez e conexão à envolvente.

Palavras chave: Ecologia, Geometria, Bio-design, Arquitetura.

Title

BE BIO ARCHI TECH

Subtitle

For a constructive integration in the ecological evolution

ABSTRACT

Biological life is a natural phenomenon that manifests in space, through a vast and diverse range of physical structures, spontaneously integrated in the environment. The total range of this quality in the structures implies a common design process. The currently ecological design strategies implemented in architecture, do not provide structures with similar ability. The cause of this difference is essentially based on design divergences.

This research aims to approach ecological design process to the living structures in geometric essence. So, it proposes to transfer the morphological characteristics of these structures for architectural shape, through a generative design process based on biological organization principles (growth). The transfer of these qualities is made through the construction of a design tool. This decodes the geometric pattern of biological morphology, using the geometric and algebraic language of shape grammars. Its application allows the implementation of this pattern in a wide range of architectural solutions. The pattern provides to the solutions, certain geometric qualities of biological morphology, such as evolutionary balance, structural simplicity, fluidity and environment integration.

Keywords: Ecology, Geometry, Bio-design, Architecture.

Agradecimentos

Ao professor Fernando Pinheiro pela sua orientação e coordenação geral ao longo do trabalho de investigação.

Ao professor Luís Romão, pela sua orientação, coordenação geral ao longo do trabalho de investigação e apoio no campo do desenho generativo.

À minha família, pelo vosso suporte e pelo vosso acreditar.

ÍNDICE

	Página
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	
- Pertinência da investigação.....	27
- Área de estudo.....	27
- Objetivos.....	28
- Metodologia.....	29
- Significância.....	29
- Organização do texto da tese.....	30
CAPÍTULO 2 - ESTADO DA ARTE	
2.1 - Ecologia e arquitetura.....	31
2.1.1 - Abordagens de conceção ecológica _ conceitos e práticas.....	31
2.1.2 - Padrão ecológico.....	37
2.1.3 - A problemática da identidade morfológica das estruturas ecológicas.....	37
2.2 _ Procura da forma ecológica _ Processos de geração de forma com estruturas vivas ou com características estruturais / comportamento das estruturas vivas _ linhas de investigação.....	39
2.2.1 - Morfogenética digital.....	40
- Neri Oxman.....	40
- Achim Menges.....	41
- R & Sie.....	42
2.2.2 - Arquiteturas vivas.....	44
2.2.2.1 - Estratégias de conceção espacial com estruturas vivas.....	44
- Joachim Mitchell.....	44
- Sanfte Strukturen.....	45
2.2.2.2 - Estratégias de conceção espacial usando qualidades metabólicas das estruturas vivas.....	46
- Magnus Larsson.....	47
- Rachel Armstrong.....	48
2.2.3 - Conclusão.....	49
2.3 - Características geométricas das estruturas vivas _ Abordagens.....	50
2.3.1 - Características geométricas _ abordagem pelo crescimento.....	51
2.3.1.1 - Christopher Alexander.....	51
- As 15 características das estruturas vivas de Alexander.....	51
- Determinação do grau de vida nas estruturas humanas.....	60
- Processo de desenho vs características geométricas.....	61
- Paralelismos / referências ao conceito de Alexander.....	62
- Nikos A. Salingaros.....	63
- Rudolph Arnheim.....	64
- Pertinência das abordagens.....	73
2.3.1.2 - D'arcy Thompson.....	73
2.3.2 - Características geométricas _ abordagem pela identidade	79

	Página
2.3.2.1 - Maggie Macnab.....	79
- Processo de desenho de Macnab.....	86
- Validação das características geométricas do processo de desenho de Macnab...	87
2.3.3 - Características geométricas _ abordagem pelo mínimo inventário / máxima diversidade	88
2.3.3.1 - John Blackwood.....	88
- Características geométricas detetadas por Blackwood no processo geométrico de geração de simetria das estruturas vivas.....	92
2.3.3.2 - Peter Pearce.....	95
- Introdução das características geométricas no processo de desenho.....	98
2.3.4 - Conclusão _ Analogias e correspondências.....	101
2.4 - Ferramentas de desenho.....	103
2.4.1 – Diagrama de Voronoi.....	103
- Diagrama de Voronoi na arquitetura.....	105
2.4.2 – Gramáticas da forma.....	106
- Aplicação das gramáticas da forma na arquitetura.....	111
2.4.3 – Conclusão.....	113

CAPÍTULO 3 – A GEOMETRIA DE UM PADRÃO ECOLÓGICO CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

3.1 – Definição das características geométricas de um padrão ecológico mediante a análise bibliográfica.....	115
3.2 – Interpretação das características geométricas a aplicar no processo de desenho.....	120
3.2.1 – Alometria.....	121
3.2.1.1 - Vocabulário geométrico.....	121
- Formas estruturais e formas de organização expansiva.....	127
- Vocabulário geométrico das estruturas vivas em estruturas humanas de carácter arquitetónico.....	130
- Formas estruturais das estruturas vivas em estruturas humanas de carácter arquitetónico.....	130
- Formas de organização expansiva das estruturas vivas em estruturas humanas de carácter arquitetónico.....	133
3.2.1.2 - Variações proporcionais.....	134
- Ordens de grandeza.....	134
- Vitruvius.....	136
- Christopher Alexander.....	137
- D'arcy Thompson.....	138
- Proporção áurea.....	139
- Conclusão _ ordens de grandeza.....	143
- A importância da derivação dos elementos estruturais na relação proporcional harmoniosa.....	144
- Variações proporcionais das estruturas vivas em estruturas humanas de carácter arquitetónico.....	145

	Página
- Exemplos de estruturas humanas de caráter arquitetónico sem coesão estrutural....	145
- Exemplos de estruturas humanas de caráter arquitetónico com coesão estrutural....	149
3.2.2 - Expansão estrutural.....	149
3.2.2.1 - Centro gerador.....	151
3.2.2.1.1 – Centro.....	151
- Gradientes.....	153
- Centro gerador nas estruturas humanas de caráter arquitetónico.....	155
- Exemplos sem centro gerador.....	155
- Exemplos com centro gerador.....	157
3.2.2.1.2 - Níveis de expansão.....	158
- Os propósitos dos níveis de expansão.....	158
- Ordem de magnitude dos níveis de expansão _ relação proporcional centro / níveis de expansão.....	159
- Níveis de expansão nas estruturas humanas de caráter arquitetónico.....	162
- Exemplos de estruturas humanas de caráter arquitetónico sem níveis de expansão	163
- Exemplos de estruturas humanas de caráter arquitetónico com níveis de expansão	168
3.2.2.2 – Repetição.....	173
- Exclusividade espacial.....	173
3.2.2.2.1 – Contraste.....	175
- Coexistência de opostos.....	181
- Contraste nas estruturas humanas de caráter arquitetónico.....	182
- Exemplos arquitetónicos sem contraste.....	182
- Exemplos arquitetónicos com contraste.....	183
3.2.2.2.2 - Simetrias locais.....	187
- Geração de estruturas com simetrias locais – imposições geométricas.....	189
- Simetrias locais em estruturas humanas de caráter arquitetónico.....	191
- Exemplos arquitetónicos sem simetrias locais.....	191
- Exemplos arquitetónicos com simetrias locais.....	193
3.2.2.2.3 – Simplicidade.....	194
- Fatores que influenciam a geração de estruturas com simplicidade estrutural.....	195
- Simplicidade em estruturas humanas de caráter arquitetónico.....	200
- Exemplos arquitetónicos sem simplicidade.....	200
- Exemplos arquitetónicos com simplicidade.....	203
3.2.2.2.4 - Rugosidade.....	204
- A problemática na interpretação do conceito de rugosidade.....	206
- Exemplos arquitetónicos com rugosidade.....	210
3.2.3 - Integração espacial.....	210
3.2.3.1- União.....	211
- Ligação à envolvente.....	212
- União e coerência.....	215
- União em estruturas humanas de caráter arquitetónico.....	216
- Fatores que influenciam a ausência de união na arquitetura.....	216
- Exemplos arquitetónicos com união.....	221
3.2.4 - Conclusão.....	222

CAPÍTULO 4 – PROCESSO DE DESENHO

	225
4.1 - Abordagem das características geométricas pelas ferramentas de desenho.	225
4.2 - Processo de geração de forma _ fases.	227
4.2.1 - Regras globais.	228
4.2.2 - Regras de controlo formal.	230
4.2.3 - Regras locais.	230
4.2.4 - Regras espaciais.	232
4.3 - Geração de modelos.	233
4.3.1 – Geração de modelo sobre superfície de um toro.	233
- Regras globais.	233
- Regras de controlo formal.	236
- Regras locais.	245
- Regras espaciais.	249
4.3.2 – Geração de modelos sobre uma superfície esférica.	255
- Regras globais.	256
- Regras de controlo formal.	258
- Regras locais.	268
- Regras espaciais.	272
4.3.3 - Validação dos modelos face aos objetivos propostos.	280
- Emergência das características geométricas nos modelos.	280
- Multidiversidade estrutural com a mesma identidade geométrica.	282
- Geração de elementos estruturais por dependência.	283
- Capacidade de integração na envolvente.	284
4.4 – Contextualização dos modelos no intuito ecológico.	286
4.4.1 – Requisitos biológicos.	287
4.4.2 – Contributos no campos de conceção biológico.	296

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES

	301
5.1 – Contributos.	305
5.1.1 – Contributos auferidos ao desenho biológico pelo processo de crescimento.	303
5.1.2 – Contributos auferidos ao desenho biológico pelas gramáticas da forma.	305
5.1.3 – Contributos da ferramenta de desenho para a arquitetura.	305
5.2 – Aplicabilidade.	306
5.3 – Descobertas.	307
5.4 – Trabalhos futuros.	309
5.4.1 – Enriquecimento da gramática.	309
5.4.2 – Fabricação / construção.	312
BIBLIOGRAFIA.	315
ANEXOS.	321

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 2 - ESTADO DA ARTE

	Página
Figura 1 - Estratégias de conceção ecológica.....	32
Figura 2 - Exemplo de estruturas arquitetónicas bioclimáticas.....	33
Figura 3 - Exemplo de estruturas arquitetónicas auto-suficientes.....	33
Figura 4 - Exemplo de estruturas arquitetónicas green / eco.....	33
Figura 5 - Exemplo de estruturas arquitetónicas sustentáveis.....	33
Figura 6 - Exemplo de estruturas arquitetónicas vivas.....	34
Figura 7 - Exemplo de estruturas arquitetónicas naturais.....	34
Figura 8 - Exemplo de estruturas arquitetónicas biofílicas.....	35
Figura 9 - Exemplo de estruturas arquitetónicas de desenho bio.....	35
Figura 10 - Comparação morfológica entre estrutura de intuito ecológico e estruturas convencionais.....	38
Figura 11 - Comparação morfológica entre estruturas de conceção ecológica com estruturas vivas e matéria orgânica com estruturas vivas.....	38
Figura 12 - Neri Oxman _ projetos.....	41
Figura 13 - Projeto Hygroscope.....	42
Figura 14 - Pavilhão Faz e Pavilhão Hygroskin.....	42
Figura 15 - Processamento dos dados do logaritmo em forma.....	43
Figura 16 - Exemplos de modelos de carácter arquitetónico concebidos por improbabilidade formal	43
Figura 17 - Fab tree house.....	45
Figura 18 - Modelo exemplificativo do projeto “Fab tree house”.....	45
Figura 19 - Configuração geométrica de dois modelos _ planta de Auerworld Palace e Wiedenblume.....	46
Figura 20 - Auerworld Palace em 1998 e em 2010.....	46
Figura 21 - Microorganismo Bacillus Pasteurii. Ensaio laboratorial de solificação de areia. Tafoni, efeito de erosão em rochas.....	47
Figura 22 - Estruturas areníticas inspiradas no “tafoni”.....	48
Figura 23 - Imagem microscópica de uma colónia de protocélulas. Transformação de materiais inertes em materiais vivos.....	48
Figura 24 - Desenhos especulativos de Christian Kerrigan.....	49
Figura 25 - Comparação morfológica de estruturas de conotação ecológica.....	50
Figura 26 - Níveis de escala.....	52
Figura 27 - Centros fortes.....	52
Figura 28 - Limites.....	53
Figura 29 - Repetição alternada.....	53
Figura 30 - Espaço positivo.....	54
Figura 31 - Boa forma.....	55
Figura 32 - Simetrias locais.....	55
Figura 33 - Ambiguidade e ligação profunda.....	56
Figura 34 - Contraste.....	57
Figura 35 - Gradientes.....	57
Figura 36 - Rugosidade.....	58
Figura 37 - Ecos.....	58
Figura 38 - O vazio.....	59

	Página
Figura 39 - Simplicidade e calma interior.....	59
Figura 40 - Sem separação.....	60
Figura 41 - Graus de vida em estruturas humanas. Esquema comparativo.....	61
Figura 42 - Exemplo de aplicação do modelo matemático em edifícios marcantes da história da arquitetura e sua ordenação por graus de vida.....	63
Figura 43 - Exemplificação morfológica dos edifícios referenciados por Salingeros segundo a ordenação de graus de vida da fig. X.....	64
Figura 44 - Centro dinâmico.....	65
Figura 45 - Exemplo de composições geométricas com formas clarividentes ou por separação ou por sobreposição dos seus limites.....	66
Figura 46 - Exemplos de forma em rivalidade.....	66
Figura 47 - Constrangimento da ordem.....	67
Figura 48 - Aberto / fechado.....	68
Figura 49 - Molde de gesso representativo do espaço interior da Basílica de Santa Sofia.....	68
Figura 50 - Linearidade vs convexidade / concavidade.....	69
Figura 51 - Campo de forças.....	69
Figura 52 - Ruído.....	70
Figura 53 - Formas completas.....	70
Figura 54 - Exemplo de simplicidade objetiva.....	71
Figura 55 - Exemplo de simplicidade relativa.....	72
Figura 56 - Campos intermédios.....	72
Figura 57 - Christopher Alexander / Rudolph Arnheim.....	73
Figura 58 - Células ganglionares da medula espinhal cervical de diferentes animais.....	74
Figura 59 - Rácios de proporção entre elementos do corpo humano durante o processo de crescimento.....	75
Figura 60 - Padrão morfológico dos elementos estruturais.....	76
Figura 61 - Simetria hexagonal.....	76
Figura 62 - Alguns exemplos tipo de agregação de quatro células.....	76
Figura 63 - Partição do espaço.....	77
Figura 64 - Tipos de forma em equilíbrio.....	77
Figura 65 - Aplicação da teoria das transformações a partir do crânio humano.....	78
Figura 66 - Comparação entre diferentes formas de crustáceos a partir da teoria de transformações de D'arcy Thompson.....	78
Figura 67 - Padrões de movimento.....	80
Figura 68 - Padrões de regeneração e conectividade.....	80
Figura 69 - Padrões de compactação.....	81
Figura 70 - Vocabulário geométrico adotado por Macnab.....	81
Figura 71 - Ilustração de Noma Bar.....	82
Figura 72 - Símbolo pessoal do estudante Gurujot Kalsa.....	82
Figura 73 - Símbolo da BP por Lyn Irvine.....	83
Figura 74 - Desenho de uma mosca com o botão das Levis 501.....	83
Figura 75 - Painel de Mirko Ilic.....	84
Figura 76 - Logo representativo do sexo masculino.....	84
Figura 77 - Tipos de simetria.....	85
Figura 78 - A gama de cores visíveis dentro do espectro de cores humanas.....	85
Figura 79 - Exemplo da aplicação do rácio Phi na geração do logotipo da Apple.....	86
Figura 80 - Alguns dos logotipos desenvolvidos por Macnab.....	87

	Página
Figura 81 - Exemplificação gráfica da averiguação das características geométricas definidas por Macnab num dos seus logotipos.....	88
Figura 82 - Exemplos de geração de simetria mediante o teorema de triângulos de Desargues.....	89
Figura 83 - Exemplo de simetria bilateral. Demonstração da inexistência de uma reflexão por cópia idêntica.....	89
Figura 84 - Exemplos de simetria bilateral mediante a aplicação- teorema triângulos – Desargues...	90
Figura 85 - Simetria radial.....	90
Figura 86 - Exemplo de simetria radial mediante a aplicação do teorema de triângulos de Desargues.....	91
Figura 87 - Exemplo de uma folha gerada por rotação assimétrica.....	91
Figura 88 - As características geométricas associadas à geração de simetria nas estruturas vivas...	92
Figura 89 - Orientações predominantes nas estruturas vivas.....	93
Figura 90 - Exemplos de orientação estrutural num rinoceronte e num ouriço.....	93
Figura 91 - O centro e os respetivos raios de expansão num ouriço do mar.....	93
Figura 92 - Medidas de crescimento.....	94
Figura 93 - Exemplo de forma concava e convexa.....	94
Figura 94 - Expo 67.....	95
Figura 95 - Predominância da forma hexagonal na configuração geométrica dos elementos estruturais.....	96
Figura 96 - Exemplo da morfologia tridimensional dos elementos estruturais da estruturas vivas _ poliedros.....	96
Figura 97 - Mínimo inventário / máxima diversidade.....	97
Figura 98 - Processo de agregação.....	97
Figura 99 - Esquema exemplificativo da disposição dos elementos em triangulação.....	98
Figura 100- Poliedros platónicos e poliedros arquimedianos.....	98
Figura 101- Alguns exemplos de distribuição de elementos estruturais (esferas) em poliedros.....	99
Figura 102- Facetamento das esferas mediante uma solução de contato por forma hexagonal.....	99
Figura 103- Triangulação das superfícies hexagonais.....	99
Figura 104- Aplicação do sistema universal de nós em poliedros.....	100
Figura 105- Exemplo da aplicação do sistema estrutural em modelos arquitetónicos.....	100
Figura 106- Características geométricas dos autores.....	101
Figura 107- Correspondências entre o leque de características definidos por Macnab e os restantes autores.....	102
Figura 108- Correspondências entre o leque de características definidos por Thompson e os restantes autores.....	102
Figura 109- Correspondências entre o leque de características definidos por Blackwood e Pearce e os restantes autores.....	102
Figura 110- Diagrama de Voronoi _ exemplo.....	103
Figura 111- Comparação entre um padrão geométrico natural e um padrão de diagrama de Voronoi	104
Figura 112- Diagrama de Voronoi. Determinação de áreas de proximidade.....	104
Figura 113- Aplicação do sistema de triangulação de Delaunay.....	105
Figura 114- Processo de fragmentação espacial referenciado no sistema de triangulação de Delaunay.....	105
Figura 115- Aplicabilidade do diagrama de Voronoi na arquitetura.....	106
Figura 116- Exemplo de uma forma.....	107
Figura 117- Exemplo de uma regra.....	107

	Página
Figura 118- Exemplo de aplicação de rótulos nas regras.....	107
Figura 119- Ausência de rótulos.....	108
Figura 120- Exemplo de uma gramática simples _ forma inicial e regra (R1)	108
Figura 121- Exemplo de uma gramática simples com uma regra de termino (R2)	109
Figura 122- Exemplo da diversidade de formas geradas com a gramática da fig. 121.....	109
Figura 123- Exemplo de geração de uma forma sem usar a totalidade das regras.....	109
Figura 124- Exemplo de uma forma esquemática paramétrica.....	110
Figura 125- Exemplo de uma gramática da forma paramétrica _ forma inicial e regras.....	110
Figura 126- Geração de uma forma usando a gramática da forma da fig. 125.....	111
Figura 127- Exemplos da diversidade de formas geradas com a gramática da fig. 125.....	111
Figura 128- Gramática do Bairro da Malagueira de Siza Vieira.....	112
Figura 129- Gramática de Paladio.....	113

CAPÍTULO 3 – A GEOMETRIA DE UM PADRÃO ECOLÓGICO CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

Figura 130 - Interação entre as quinze propriedades geométricas segundo Alexander.....	116
Figura 131 - As dependências e os efeitos das características geométricas de Alexander.....	116
Figura 132 - Três qualidades estruturais do processo de crescimento.....	117
Figura 133 - As temáticas sobre as quais serão interpretadas as três qualidades estruturais do processo de crescimento e respetivas características associadas.....	118
Figura 134 - Alometria.....	119
Figura 135 - Expansão estrutural.....	119
Figura 136 - Integração espacial.....	119
Figura 137 - Resumo final dos três requisitos estruturais do fenómeno de crescimento e respetivas características geométricas.....	120
Figura 138 - Exemplos de articulação de formas elementares nas estruturas vivas.....	121
Figura 139 - Reprodução celular. Transferência das características morfológicas entre células.....	121
Figura 140 - Vocabulário geométrico das estruturas vivas.....	122
Figura 141 - Primeira comparação / seleção – formas fechadas e formas abertas.....	123
Figura 142 - Centro geométrico.....	124
Figura 143 - Centro dinâmico.....	124
Figura 144 - Centro dinâmico em formas lineares.....	124
Figura 145 - Seleção de formas com equilíbrio e desequilíbrio estrutural.....	124
Figura 146 - Exemplo de forma com errónea conotação quadrangular.....	125
Figura 147 - Exemplo de forma com errónea conotação triangular.....	125
Figura 148 - Seleção formal com a exclusão das formas triangulares e quadrangulares.....	126
Figura 149 - Exemplos de estruturas vivas com composição geométrica em pentagrama.....	126
Figura 150 - Comprovação do pentagrama como forma não elementar.....	126
Figura 151 - Vocabulário geométrico final.....	127
Figura 152 - Conjugação de formas de organização expansiva e formas estruturais nas estruturas vivas.....	127
Figura 153 - Exemplo de composições geométricas com formas poligonais e com formas cónicas	128
Figura 154 - Família de ângulos.....	128
Figura 155 - Divisão das formas por carácter morfológico.....	129
Figura 156 - Tipos de formas de organização expansiva.....	129

	Página
Figura 157 - As formas de organização expansiva impõem um posicionamento espacial específico nos elementos geométricos que compõem as estruturas vivas.....	130
Figura 158 - Composições geométricas constituídas por formas estruturais com diferentes estruturas morfológicas.....	131
Figura 159 - Exemplos de formas estruturais que não desempenham funções estruturais na definição da composição geométrica.....	132
Figura 160 - Distribuição de formas em continuidade.....	132
Figura 161 - Introdução de irregularidades nas formas estruturais.....	133
Figura 162 - Exemplos de formas de organização expansiva estruturados com malhas triangulares	133
Figura 163 - Variação proporcional nas estruturas vivas.....	134
Figura 164 - Variação proporcional na mesma espécie.....	134
Figura 165 - Coesão estrutural.....	135
Figura 166 - Exemplo de coesão estrutural nas estruturas vivas.....	135
Figura 167 - Intervalos de harmonia musical.....	136
Figura 168 - O homem Vitruviano.....	136
Figura 169 - Exemplos de relações proporcionais em construções romanas.....	137
Figura 170 - Saltos proporcionais predominantes entre elementos adjacentes das estruturas vivas.	137
Figura 171 - Variabilidade direcional das variações proporcionais.....	138
Figura 172 - Exemplo de saltos proporcionais harmoniosos entre elementos adjacentes nas estruturas vivas, segundo Alexander.....	138
Figura 173 - Teoria das transformações em crustáceos.....	139
Figura 174 - Variações proporcionais nas malhas referenciais.....	139
Figura 175 - Proporção áurea. Relação entre dois segmentos.....	140
Figura 176 - Método de divisão geométrica da proporção áurea.....	140
Figura 177 - Exemplos de aplicação do método de divisão da proporção áurea em estruturas celulares.....	140
Figura 178 - Recursividade do método de divisão da proporção áurea.....	141
Figura 179 - Exemplo de aplicação da regra de divisão geométrica da regra de ouro no corpo humano.....	141
Figura 180 - Aplicação da regra de divisão geométrica da proporção áurea numa estrutura viva....	142
Figura 181 - Relação de proporção entre elementos adjacentes de uma estrutura viva a partir da regra de divisão geométrica da proporção áurea.....	142
Figura 182 - Ordens de grandeza presentes na proporção áurea.....	144
Figura 183 - Derivação dos elementos – Nautilus.....	145
Figura 184 - A dispersão de elementos geométricos.....	146
Figura 185 - Dependência entre elementos estruturais.....	146
Figura 186 - Exemplos de composições estruturais geradas por continuidade geométrica dos elementos sem variação proporcional.....	147
Figura 187 - Comparação do efeito de coesão entre continuidades geométricas com elementos sem variação proporcional e com variação proporcional.....	147
Figura 188 - Interrupção estrutural na composição por saltos proporcionais elevados entre elementos adjacentes.....	148
Figura 189 - Limitação espacial das proporções.....	148
Figura 190 - Exemplos de composições geométricas cujos elementos não são distribuídos em cadência pela sua ordem de magnitude.....	149
Figura 191 - Exemplos de composições geométricas cujos elementos são distribuídos em cadência pela sua ordem de magnitude.....	149

	Página
Figura 192 - Metamorfose da rã.....	150
Figura 193 - As qualidades geométricas inerentes ao processo de expansão estrutural.....	150
Figura 194 - As composições geométricas das estruturas vivas convergem sempre para uma zona fixa.....	151
Figura 195 - Centros.....	151
Figura 196 - Exemplos de estruturas vivas cujo centro gerador coincide como centro geométrico da composição.....	152
Figura 197 - Exemplos de centros no interior da forma.....	152
Figura 198 - Exemplos de centros no limite da forma.....	152
Figura 199 - Exemplo de variações lentas e graduais nas estruturas vivas _ efeito gradiente.....	153
Figura 200 - Variação proporcional e campos de forças.....	153
Figura 201 - Tipos de gradientes.....	154
Figura 202 - Geração de orientação em gradientes progressivos.....	154
Figura 203 - Geração de orientação em gradientes oscilantes.....	155
Figura 204 - Multiplicidade de centros.....	156
Figura 205 - Cadências em anulação.....	156
Figura 206 - Composição estática.....	156
Figura 207 - Exemplos de estruturas geométricas com o centro gerador coincidente com o centro geométrico.....	157
Figura 208 - Exemplos de estruturas com centro gerador não coincidente com o centro geométrico da forma.....	157
Figura 209 - Exemplos de estruturas em que o centro gerador situa-se no limite da forma.....	157
Figura 210 - Exemplos de zonas de transição nas estruturas vivas.....	158
Figura 211 - A função dos níveis de expansão.....	159
Figura 212 - Relação de proporção entre o centro e o limite com uma ordem de grandeza de 1/1....	159
Figura 213 - Demonstração a nível molecular das ordens de grandeza entre centro e limite propostas por Alexander.....	160
Figura 214 - Demonstração do efeito de recursividade das ordens de grandeza numa estrutura molecular através do método de divisão geométrica da proporção áurea.....	160
Figura 215 - Hippuris stem calcofluor small – corte transversal.....	161
Figura 216 - Influência da ordem de grandeza do centro inicial no cálculo dos níveis de expansão que se seguem.....	162
Figura 217 - Exemplificação do cálculo das ordens de grandeza dos diversos níveis de expansão referenciada na proporção áurea.....	162
Figura 218 - Comparação entre composições com e sem quebra de continuidade dos elementos geométricos _ dispersão aleatória dos elementos.....	163
Figura 219 - Comparação entre composições com e sem quebra de continuidade dos elementos geométricos _ dispersão homogénea dos elementos.....	164
Figura 220 - Museu Century e Mediateca de Sendai.....	164
Figura 221 - Composições geométricas com elementos estruturais iguais.....	165
Figura 222 - Falso campo vetorial.....	165
Figura 223 - Composições arquitetónicas por repetição de elementos estruturais.....	166
Figura 224 - Falso campo vetorial em composição arquitetónica.....	166
Figura 225 - Comparação entre composições sem e com quebras por variação proporcional.....	167
Figura 226 - Ausência de cadências progressivas por quebras de variação proporcional em estruturas arquitetónicas.....	167

	Página
Figura 227 - Diferença de intensidade do centro gerador com as ordens de grandeza das estruturas vivas com outras ordens de grandeza.....	168
Figura 228 - Exemplificação gráfica das relações proporcionais entre centro e níveis de expansão..	169
Figura 229 - Níveis de expansão no templo Shyamrai em Bishnupur.....	169
Figura 230 - Níveis de expansão no Coliseu de Roma.....	169
Figura 231 - Exemplificação gráfica das relações proporcionais entre centro e níveis de expansão...	170
Figura 232 - Níveis de expansão no Auerworld Palace.....	170
Figura 233 - Exemplificação gráfica das relações proporcionais entre centro e níveis de expansão...	171
Figura 234 - Níveis de expansão no Templo Borobudur.....	171
Figura 235 - Exemplificação gráfica das relações proporcionais entre centro e níveis de expansão...	172
Figura 236 - Níveis de expansão no templo Angkor.....	172
Figura 237 - Exemplos de repetição nas estruturas vivas.....	173
Figura 238 - Exemplificação da individualidade de cada elemento estrutural.....	173
Figura 239 - Comparação entre formas com e sem exclusividade espacial.....	174
Figura 240 - As qualidades geométricas implícitas na exclusividade espacial.....	175
Figura 241 - Demonstração da importância do contraste na leitura de um espaço.....	175
Figura 242 - As estruturas vivas opõem-se à envolvente e constroem-se por oposição.....	176
Figura 243 - Exemplo de estruturas arquitetônicas com e sem alternância de opostos.....	176
Figura 244 - Imponência dos contrastes.....	177
Figura 245 - Exemplos de estruturas vivas definidas com contraste por oposição preto / branco.....	177
Figura 246 - Exemplos de contraste por oposição claro / escuro, com diferentes tonalidades em estruturas vivas.....	178
Figura 247 - Exemplos de contraste por oposição claro / escuro com tonalidades da mesma cor.....	178
Figura 248 - Exemplos de contraste de oposição claro / escuro com cores primárias.....	179
Figura 249 - Exemplos de estruturas vivas com contraste por variação estrutural com oposição cheio / vazio.....	179
Figura 250 - Exemplos de estruturas vivas com contraste por variação estrutural com oposição concavo / convexo.....	180
Figura 251 - Exemplos de estruturas vivas com contraste por variação estrutural com oposição dinâmico / calmo.....	180
Figura 252 - Coexistência de opostos.....	181
Figura 253 - Illegibilidade estrutural.....	182
Figura 254 - Exemplos de disposição de elementos estruturais de sistemas de elementos opostos..	183
Figura 255 - Exemplos de estruturas geométricas com grande predominância de distúrbio estrutural.....	183
Figura 256 - Exemplos de estruturas arquitetônicas cujos elementos estruturais são definidos através de contraste por oposição preto / branco.....	184
Figura 257 - Exemplos de contraste por oposição claro / escuro em estruturas arquitetônicas.....	185
Figura 258 - Exemplos de contraste com oposição por cores primárias em estruturas arquitetônicas.....	185
Figura 259 - Exemplos de contrastes por oposição cheio / vazio em estruturas arquitetônicas.....	186
Figura 260 - Exemplos de contrastes pela oposição concavo / convexo em estruturas arquitetônicas.....	186
Figura 261 - Exemplos de contraste por oposição dinâmico / calmo em estruturas arquitetônicas...	187
Figura 262 - Exemplo de simetria em estruturas vivas.....	188
Figura 263 - Simetrias locais nas estruturas vivas.....	188

	Página
Figura 264 - Comparação entre composição geométrica com simetria global e composição geométrica com simetrias locais.....	189
Figura 265 - Os elementos estruturais das compsoições geométricas com simetrias locais.....	189
Figura 266 - Forma com simetria bilateral exata (forma monótona e estática) / forma com simetrias locais (forma tensa e dinâmica).....	190
Figura 267 - A importância da variabilidade de ângulos internos nas formas com simetrias locais...	190
Figura 268 - Exemplos de composições geométricas com simetrias locais, gerada com elementos estruturais com simetrias locais.....	191
Figura 269 - Exemplos de composições geométricas com elementos regulares de simetria perfeita.	192
Figura 270 - Exemplos de composições geométricas com elementos regulares sem simetria perfeita.....	192
Figura 271 - Exemplos de composições geométricas com elementos predominantemente regulares sem simetria perfeita.....	193
Figura 272 - Exemplos de composições geométricas com simetrias locais.....	194
Figura 273 - Legibilidade estrutural em estruturas vivas de diferente complexidade geométrica.....	194
Figura 274 - Exemplos de estruturas com simplicidade e sem simplicidade estrutural.....	195
Figura 275 - Exemplo de como formas com simplicidade estrutural podem não gerar composições com simplicidade estrutural.....	195
Figura 276 - Hipóteses para demarcação de uma qualidade.....	196
Figura 277 - Quebra de continuidades unidirecionais.....	196
Figura 278 - Exemplos de elementos estruturais gerados por interseção.....	197
Figura 279 - Determinação de interseções.....	197
Figura 280 - Exemplos de estruturas sem simplicidade estrutural.....	197
Figura 281 - Exemplos de configurações de nós para anular o efeito de interseção.....	198
Figura 282 - Exemplificação de nós com e sem interseção.....	198
Figura 283 - Composições geométricas com simplicidade estrutural.....	199
Figura 284 - Comparação entre estruturas com e sem sobreposição dos limites dos elementos estruturais.....	199
Figura 285 - Simplicidade estrutural por compatibilidade morfológica.....	200
Figura 286 - Exemplos de ausência de simplicidade estrutural por ilegitimidade dos elementos geométricos.....	200
Figura 287 - Possíveis interpretações de um elemento estrutural.....	201
Figura 288 - Indeterminação dos elementos estruturais.....	201
Figura 289 - Descontinuidade das malhas estruturais.....	202
Figura 290 - Exemplificação de uma composição geométrica sem simplicidade estrutural por interseção de elementos.....	202
Figura 291 - Outros elementos de configurações geométricas por interseção que retiram simplicidade estrutural à composição.....	203
Figura 292 - Exemplos d ausência de simplicidade estrutural por incompatibilidade morfológica, pelo acréscimo de elementos geométricos não familiares à composição geométrica dominante.....	203
Figura 293 - Estruturas de caráter arquitetônico com simplicidade estrutural.....	204
Figura 294 - Exemplos de rugosidade em estruturas vivas.....	204
Figura 295 - Requisitos geométricos para despontar efeito de rugosidade.....	204
Figura 296 - Requisitos geométricos da simetrias locais para despontar rugosidade.....	205
Figura 297 - Emergência do efeito de rugosidade em configurações geométricas centroidais.....	205
Figura 298 - Mariana Towers e maçaroca de milho. Comparação morfológica.....	207

	Página
Figura 299 - Exemplos de efeito de rugosidade condicionada pela repetição.....	207
Figura 300 - Exemplo de composições geométricas com rugosidade e sem rugosidade.....	208
Figura 301 - Perca do efeito de rugosidade por inexistência de encaixe dos elementos.....	208
Figura 302 - Diferença entre o efeito de oscilação formal e a oscilação da rugosidade das estruturas vivas.....	209
Figura 303 - Falso efeito de rugosidade por oscilação formal em estruturas arquitetônicas.....	209
Figura 304 - Exemplos de estruturas humanas com rugosidade.....	210
Figura 305 - Comparação entre formas simetricamente regulares e formas com irregularidades simétricas.....	211
Figura 306 - Comparação de ligações entre um prego e um parafuso numa tábua de madeira.....	212
Figura 307 - Exemplo de estruturas com formas tênues.....	212
Figura 308 - Exemplos de estruturas com volume compacto.....	213
Figura 309 - Exemplos de estruturas com volume aberto.....	213
Figura 310 - Exemplos dos tipos de deformação existentes nas formas das estruturas vivas.....	214
Figura 311 - Deformação e capacidade de encaixe.....	214
Figura 312 - Exemplo de como as estruturas vivas se tornam inseparáveis por separação.....	215
Figura 313 - Comparação entre estruturas coerentes por ligação direta e estruturas coerentes por separação.....	215
Figura 314 - Demonstração dos níveis de coerência estrutural por meio de campos de força.....	216
Figura 315 - Exemplos de estruturas arquitetônicas sem união.....	217
Figura 316 - Diferença de união entre formas com e sem diversidade de ângulos internos.....	217
Figura 317 - Influência da regularidade e da irregularidade da forma arquitetônica na união das mesmas à envolvente.....	218
Figura 318 - Exemplos de estruturas arquitetônicas sem união por perfuração da massa estrutural	218
Figura 319 - Forma se união. Forma com união.....	219
Figura 320 - Exemplos de forma gerada pelo homem, com e sem união.....	219
Figura 321 - Imposições espaciais.....	220
Figura 322 - Ausência de espontaneidade de ocupação espacial.....	220
Figura 323 - Exemplo de união através de formas tênues.....	221
Figura 324 - Exemplos de união com estruturas densas por volume compacto.....	222
Figura 325 - Exemplos de união com estruturas densas por volume aberto.....	222
Figura 326 - Características geométricas em estruturas vivas e em estruturas humanas de caráter arquitetônico _ resumo.....	223

CAPÍTULO 4 – PROCESSO DE DESENHO

Figura 327 - Identificação das características geométricas das estruturas vivas presentes nos diagramas de Voronoi.....	225
Figura 328 - Diagramas de Voronoi com geração centroidal.....	226
Figura 329 - As características geométricas das estruturas vivas a gerar nos diagramas de Voronoi, através das gramáticas da forma	227
Figura 330 - Exemplos de estruturas vivas com formas de organização expansiva em onda.....	228
Figura 331 - Exemplo de estrutura viva com uma estrutura de organização expansiva em onda.....	229
Figura 332 - Perfis formais das estruturas vivas.....	230
Figura 333 - Pontos referenciais dos diagramas de Voronoi.....	231

	Página
Figura 334 - Exemplo de formas estruturais poligonais na composição geométrica de uma estrutura viva.....	231
Figura 335 - Superfícies geométricas (semi toro e semi esfera)	232
Figura 336 - Geração dos níveis de expansão mediante a aplicação das regras RG1, RG2, RG3 e RG4.	234
Figura 337 - Geração de subníveis de expansão.....	235
Figura 338 - Geração do ângulo de expansão estrutural mediante a aplicação da regra RCF1.....	236
Figura 339 - Definição da malha de pontos dentro do intervalo de expansão definido (90°).....	237
Figura 340 - Geração da zona de interdição.....	238
Figura 341 - Geração do perfil auxiliar contendo três segmentos de reta.....	239
Figura 342 - Reflexão por simetria bilateral.....	240
Figura 343 - Geração das guias de controlo formal.....	241
Figura 344 - Correção dos casos de sobreposição de arcos.....	242
Figura 345 - Perfil formal sem restrições de direcionalidade no último nível de expansão.....	243
Figura 346 - Configuração geométrica da base estrutural após a exclusão dos elementos geométricos auxiliares à geração da guia de controlo formal.....	244
Figura 347 - Geração de elementos estruturais (diagramas de Voronoi).....	245
Figura 348 - A malha estrutural e a respetiva guia de controlo formal à qual se referenciam.....	246
Figura 349 - Definição do limite da composição geométrica.....	247
Figura 350 - Composição geométrica final (plano bidimensional).....	248
Figura 351 - Identificação dos pontos correspondentes aos vértices dos polígonos estruturais.....	249
Figura 352 - Referenciação dos pontos dos perímetros de vértice e raios de circunferência do nível de expansão n5.....	250
Figura 353 - Definição da superfície do toro referencial ($\alpha=120^\circ$).....	251
Figura 354 - Transposição dos polígonos estruturais para a superfície.....	252
Figura 355 - Simplificação do processo de transferência dos polígonos para a superfície _ exclusão	253
Figura 356 - Simplificação do processo de transferência dos polígonos para a superfície _ transferência.....	253
Figura 357 - Simplificação do processo de transferência dos polígonos para a superfície _ definição da forma final.....	254
Figura 358 - Visualização virtual do modelo. Perspetivas.....	254
Figura 359 - Visualização virtual do modelo. Perspetivas.....	255
Figura 360 - Exemplo de outros modelos referenciados numa superfície de toro.....	255
Figura 361 - Geração de 4 níveis de expansão através da aplicação das regras RG1, RG2, RG3 e RG4.....	256
Figura 362 - Geração de subníveis de expansão.....	257
Figura 363 - Geração do ângulo de expansão estrutural mediante a aplicação das regras RCF1.....	258
Figura 364 - Definição da malha de pontos dentro do intervalo de expansão definido (90°).....	259
Figura 365 - Geração da zona de interdição antevendo a geração de uma composição geométrica com simetria radial.....	260
Figura 366 - Geração do perfil auxiliar definido com três segmentos de reta.....	261
Figura 367 - Rotura do perfil auxiliar.....	262
Figura 368 - Reflexão por simetria radial.....	263
Figura 369 - Geração das guias de controlo formal.....	264
Figura 370 - Correção dos casos de sobreposição de arcos.....	265

	Página
Figura 371 - Convergência de todos os arcos das guias de controlo formal no sentido oposto ao centro da composição.....	266
Figura 372 - Configuração geométrica da base estrutural após a exclusão dos elementos geométricos auxiliares à geração da guia de controlo formal.....	267
Figura 373 - Geração de elementos estruturais.....	268
Figura 374 - Corpo estrutural da composição após a exclusão dos elementos geométricos auxiliares à sua geração.....	269
Figura 375 - Resultado da seleção de formas a incluir na composição geométrica.....	270
Figura 376 - Visualização da composição geométrica após a exclusão das guias de controlo formal (RL32)	271
Figura 377 - Identificação dos pontos correspondentes aos vértices dos polígonos estruturais.....	272
Figura 378 - Reposição total do perímetro de circunferência correspondente ao último nível de expansão.....	273
Figura 379 - Referenciação dos pontos dos perímetros de vértice a raios de circunferência do nível de expansão n4.....	274
Figura 380 - Definição da superfície esférica referencial ($\alpha=45^\circ$)	275
Figura 381 - Transposição dos polígonos estruturais para a superfície.....	276
Figura 382 - Simplificação do processo de transferência dos polígonos para a superfície _ remoção dos arcos referenciais.....	277
Figura 383 - Simplificação do processo de transferência dos polígonos para a superfície _ transferência dos segmentos de reta do perímetro dos polígonos para o espaço (RE24)	277
Figura 384 - Simplificação do processo de transferência dos polígonos para a superfície_ definição da forma final.....	278
Figura 385 - Visualização virtual do modelo. Perspetivas.....	278
Figura 386 - Visualização virtual do modelo. Perspetivas.....	279
Figura 387 - Exemplo de outros modelos referenciados numa superfície esférica.....	279
Figura 388 - Esquema de validação do modelo.....	281
Figura 389 - Esquema de validação do modelo.....	281
Figura 390 - Exemplos de diversidade formal com a mesma identidade morfológica, gerada pela ferramenta de desenho.....	282
Figura 391 - Forma em equilíbrio e forma em desequilíbrio.....	283
Figura 392 - Dependência estrutural dos elementos em favor de um centro _ estruturas em equilíbrio.....	283
Figura 393 - Unicidade geométrica dos elementos estruturais.....	284
Figura 394 - Criação de tensão a partir da configuração geométrica das formas.....	284
Figura 395 - As superfícies curvas geram tensão por oposição.....	285
Figura 396 - Transferência de forças.....	285
Figura 397 - Qualidades inerentes à fluidez estrutural.....	286
Figura 398 - Exemplos de modelos gerados pela ferramenta de desenho construída pela investigação.....	287
Figura 399 - Padrão morfológico.....	288
Figura 400 - Reciclagem e reutilização material.....	289
Figura 401 - Vocabulário geométrico.....	289

	Página
Figura 402 - Fluidez estrutural.....	290
Figura 403 - Exclusividade espacial.....	290
Figura 404 - Coesão estrutural.....	291
Figura 405 - Variação estrutural.....	291
Figura 406 - Simetria.....	292
Figura 407 - Geração de modelos referenciados em superfícies curvas.....	292
Figura 408 - Multifuncionalidade estrutural.....	293
Figura 409 - Influência da ordenação interna em continuidade na conexão de elementos estruturais..	294
Figura 410 - Potenciação dos elementos estruturais.....	294
Figura 411 - Exemplo de aplicação de ordens de grandeza similares em distintas fases do processo de geração, tendo em conta uma referência estrutural já existente.....	295
Figura 412 - Expansão formal.....	295
Figura 414 - Identidade morfológica.....	296
Figura 415 - Influência da introdução de características geométricas das estruturas vivas ao nível dos elementos estruturais.....	297

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES

Figura 416 - Exemplo de estruturas modulares autoportantes de configuração irregular.....	306
Figura 417 - Potenciação da capacidade e integração na envolvente.....	308
Figura 418 - Exemplo evolutivo de uma forma mantendo equilíbrio estrutural.....	308
Figura 419 - Perímetro dos elementos estruturais que compõem a configuração geométricas das estruturas vivas.....	309
Figura 420 - Variação da espessura do perímetro dos polígonos estruturais.....	310
Figura 421 - Base estrutural com forma de organização expansiva em espiral.....	310
Figura 422 - Exemplo de duas superfícies curvas a implementar.....	311
Figura 423 - Potenciação do efeito de rugosidade.....	311
Figura 424 - Preenchimento das células com soluções tridimensionais.....	312
Figura 425 - Preenchimento das células com soluções complanares à “célula”.....	312
Figura 426 - Exemplos de estruturas de carácter arquitetónico que evidenciam os requisitos materiais e estruturais de intuito biológico.....	313

***“(...) the more perfect the creature becomes,
the more its parts become dissimilar (...)”***
(Goethe, 1962 apud Wells, 1978)

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

Pertinência

Dentro do ramo da arquitetura, têm sido desenvolvidas ao longo das últimas décadas, diversas estratégias de concepção ecológica. Estas têm levado à emergência de um leque diversificado de soluções arquitetónicas. Contudo, essa intencionalidade não é perceptível em muitas das suas soluções. A ausência de qualidades geométricas e/ou materiais que as associem ao universo natural, apresentam-se como a principal razão dessa ilegibilidade. Tal facto, demonstra que o homem tem interiorizado em si, um tipo de identidade morfológica, para o que visualmente interpreta como ecológico. Esta capacidade de identificação advém do seu contacto diário com estruturas que detêm essa qualidade. Estas transmitem-lhe as suas qualidades, independentemente da forma como se manifestam na envolvente. Portanto, se a informação pode ser obtida através de diversas configurações formais, isto sugere que as mesmas partilhem um mesmo padrão (Alexander, 2001; Capra, 2003).

Este padrão, contém uma qualidade que tem vindo a desvanecer progressivamente na arquitetura, a espontaneidade de integração na envolvente. Algumas abordagens teóricas existem sobre esta temática, como são exemplo, as expostas por Christopher Alexander (2001) e Rudolph Arnheim (1998). Ambos justificam o declínio desta qualidade, com a perda de determinadas características geométricas por parte do processo de desenho humano. Contudo, Alexander identifica essas particulares características, em coexistência nas estruturas vivas. Tal facto leva-o a sugerir que a recuperação da qualidade arquitetónica deve passar pela implementação de um processo de desenho cada vez mais próximo das estruturas vivas.

Tomando esta investigação, a opção de se movimentar no ramo da ecologia, numa perspetiva de coerência morfológica entre estruturas humanas e estruturas vivas, questiona-se: Como poderá a forma arquitetónica alcançar as qualidades morfológicas dessas estruturas? Passará o processo apenas pela identificação e aplicação de um conjunto de características geométricas? Ou estarão elas vinculadas a algum mecanismo específico, que imponha uma mudança no processo de desenho humano? Portanto, apresenta-se como pertinência desta investigação, perceber como poderá ser feita, em termos geométricos, a aproximação e transferência dessas qualidades para as estruturas arquitetónicas.

Área de estudo

Nos últimos anos, surgiram no campo do desenho ecológico, algumas linhas de investigação que desenvolveram estruturas de carácter arquitetónico, sem copiar diretamente formas, ou mecanismos naturais das estruturas vivas (morfogenética digital e arquiteturas vivas). Estas incidem as suas abordagens, na implementação de processos de desenho baseados em características geométricas e/ou de comportamento estrutural das formas biológicas. No entanto,

as linhas de investigação demonstraram uma mudança na abordagem do desenho ecológico. Elas põem de lado a interpretação da ecologia pelo objeto, valorizando a interpretação pelo processo. Esta mudança de atitude revela que a preocupação do desenho ecológico direcionou-se para a valorização da identidade do objeto, ou seja, para os seus padrões. Alexander (2001) defende que a passagem dessa identidade para o desenho humano é crucial para que as estruturas humanas possam operar na envolvente a um nível semelhante ao das estruturas vivas. Contudo, não sugere concretamente condições para a sua realização. Essa sugestão é apresentada por C. Loehle (2004). Este sugere, que um padrão ecológico deve resultar da interação de pelo menos seis distintos níveis de complexidade (espaço, tempo, estrutura, processo, comportamento e geometria). Loehle define assim, diversos campos de investigação para um objetivo comum, o padrão ecológico.

Esta investigação pretende ser um contributo na definição de um padrão ecológico, com o intuito de ajudar a diminuir a fronteira existente entre estruturas humanas e estruturas vivas. Centrando-se nas qualidades geométricas da morfologia biológica, esta vai balizar-se no nível de complexidade geométrico desse padrão. Com o intuito de transpor essas qualidades para as estruturas humanas de caráter arquitetónico, a investigação vai debruçar-se sobre três distintas temáticas: em processos de desenho generativo de intuito ecológico (Oxman, 2010; Armstrong, 2009; Mitchell, 2010; Menges, 2012; Larsson, 2010, *Strukturen*, 1998); na interpretação de diferentes abordagens sobre a geometria natural (Macnab, 2011; Blackwood, 2012; Pearce, 1978; Thompson, 1992; Alexander, 2001) e em ferramentas de desenho generativo, capazes de reproduzir padrões geométricos naturais, tais como, os diagramas de Voronoi (Okabe, 2008) e as gramáticas da forma (Stiny, 2008).

Objetivos

A abordagem da ecologia pela via da geometria advém de uma ideia exposta por Alexander (2001). O autor sugere que existe uma relação entre a qualidade da forma arquitetónica e a sua capacidade de integração na envolvente. Portanto, para “restaurar” a má qualidade arquitetónica, este propõe a mudança do processo de desenho humano para um outro, similar ao das estruturas vivas.

Como resposta a este desafio, esta investigação tem como intenção primordial, o desenvolvimento de um processo de desenho capaz de transferir as qualidades geométricas inerentes à identidade morfológica das estruturas vivas, para as estruturas humanas de caráter arquitetónico. Para sua realização, esta delineia como objetivos os seguintes pontos:

- 1) Identificar um conjunto de características geométricas presentes na identidade morfológica das estruturas vivas e os respetivos mecanismos de expansão a si vinculados (crescimento).

2) Desenvolver uma ferramenta de desenho, de essência geométrica, através das gramáticas da forma. Esta deve ser capaz de gerar estruturas de intuito arquitetônico, que revelem os seguintes requisitos:

- A presença em simultâneo de todas as características geométricas identificadas;
- Multidiversidade de estruturas com a mesma identidade geométrica;
- Geração dos elementos estruturais por dependência interna (essencial à otimização estrutural das composições);
- Qualidades geométricas que potenciem a integração da forma à envolvente.

Metodologia

A investigação divide-se em quatro fases, sendo aplicado em cada uma delas distintas metodologias. Na primeira fase, dedicada à contextualização do tema, o método de investigação recorre exclusivamente a fontes de informação bibliográfica em três distintas temáticas: processos de desenho generativo com estruturas vivas ou com características estruturais das mesmas, seus padrões geométricos e ferramentas de desenho generativo (gramáticas da forma e diagramas Voronoi). Selecionada a informação, a segunda fase incide na definição do conjunto de características geométricas inerentes à identidade morfológica dessas estruturas. A definição destas características, é o resultado de uma análise de correlação às características referenciadas nas diferentes abordagens de interpretação geométrica das estruturas vivas. Definido o conjunto a implementar no processo de desenho, a seguinte fase destina-se à transferência das mesmas para as ferramentas de desenho. Para tal, é aplicada uma metodologia experimentalista apoiada numa metodologia causal-comparativa. Ou seja, são testadas soluções geométricas e algébricas sobre o padrão organizativo das gramáticas da forma, com o intuito de alcançar uma determinada qualidade geométrica. Por fim, na quarta e última fase, destinadas às validações, a investigação recorre a uma investigação analítica, revisando os resultados face aos objetivos propostos.

Significância

O processo de desenho vai emergir no campo de desenho ecológico, como uma proposta de geração de estruturas humanas, através de uma perspetiva biológica. Os seus principais contributos neste campo de investigação são:

- Fornecer à arquitetura, uma ferramenta de desenho generativo de essência geométrica, que permite experienciar um processo de modelação espacial, mediante princípios de organização biológica.
- Introdução na arquitetura de uma perspetiva de desenho baseada na simplificação formal pela multifuncionalidade, onde forma e estrutura partilham a mesma configuração geométrica.

- Demonstrar a importância que a não dissociação das características geométricas do processo que as faz emergir (crescimento), detém na emergência de qualidades geométricas da morfologia biológica nas estruturas arquitetônicas.

- Informar outras linhas de investigação no campo ecológico, para o facto de as estruturas vivas possuírem um padrão geométrico específico, com o qual alcançam as suas qualidades ecológicas. Portanto, esse padrão pode ser usado como um referencial no desenvolvimento de soluções, que visam a otimização material e estrutural das estruturas arquitetônicas, como são exemplo, as estruturas autoportantes.

Organização do texto da tese

O percurso de investigação de tese divide-se em quatro capítulos, para além do destinado à introdução.

O segundo capítulo aborda o enquadramento das temáticas relevantes ao objetivo da investigação. Neste contexto, são abordados três distintos temas. Primeiro, são referenciados processos de desenho generativo que incluem estruturas vivas ou características estruturais das mesmas. O objetivo passa por identificar uma predominância de padrões geométricos aquando do afastamento do homem do processo de geração. Segundo, são interpretadas diferentes perspetivas de caracterização geométrica das estruturas vivas, tendo como objetivo a sua quantificação. Terceiro, é feita uma abordagem a ferramentas de desenho generativo (diagrama de Voronoi e gramáticas da forma), pela sua capacidade de implementação de padrões geométricos naturais em estruturas humanas. O objetivo passa por interpretar o seu funcionamento e perceber como estas podem ser implementadas em soluções de âmbito arquitetónico.

O terceiro capítulo aborda a definição da geometria de um padrão ecológico. Esta abordagem é definida em duas fases. Na primeira, são associadas à diferentes etapas do processo de crescimento, as características influentes. A segunda fase, destina-se à caracterização das mesmas. Simultaneamente, é realizado um trabalho de identificação dessas características em estruturas arquitetónicas e verificadas as causas geométricas da sua ausência.

O quarto capítulo, incide na demonstração do processo de geração de modelos, usando a ferramenta de desenho desenvolvida (gramática). Esta etapa da investigação, é dividida em três fases. Na primeira, é descrita a gramática da forma para a qual são transferidas as características geométricas identificadas. Na segunda, procede-se à geração de dois modelos exemplificativos, mediante a aplicação das regras da gramática. Por fim, na terceira fase, procede-se à validação dos modelos gerados, face aos objetivos propostos.

No quinto e último capítulo, são elaboradas as conclusões e delineados caminhos de trabalho futuro.

CAPÍTULO 2 - ESTADO DA ARTE

2.1 ECOLOGIA E ARQUITETURA

2.1.1 ABORDAGENS DE CONCEÇÃO ECOLÓGICA _ CONCEITOS E PRÁTICAS

Nas últimas décadas, tem vindo em crescendo, a preocupação pelos efeitos destrutivos da atividade humana na envolvente ambiental. De modo a reduzir e a encaminhar o impacto da atividade do homem, a níveis comportáveis pelo ciclo de regeneração natural, foram introduzidas nas diversas áreas da atividade humana, estratégias ambientais conotadas de ecológicas.

As estratégias ecológicas emergiram nos mais variados ramos da ciência, não sendo a arquitetura exceção. Dentro desta temática, a arquitetura tem sido fértil na emergência de estratégias de desenho que visam a redução do impacto ambiental das construções humanas. Contudo, apesar de defenderem um propósito comum, nem todas partilham dos mesmos princípios. As divergências existentes fundamentam-se em questões de ética ambiental (Capra, 2003; Júnior, 2004). Por um lado, defende-se uma intervenção pela oposição às estruturas vivas, onde as soluções devem-se adaptar às conquistas tecnológicas e aos requisitos de vivência espacial exigidos atualmente (ecologia superficial). Por outro lado, defendem-se soluções pela cooperação ativa e participativa com as estruturas vivas, o que implica uma redefinição profunda nos padrões de vida e incluso, da própria conceção espacial (ecologia profunda) (Júnior, 2004).

No caso da ecologia superficial, as soluções implementadas nos sistemas arquitetónicos, são particularmente fundamentados no controlo de gastos energéticos e materiais. No campo material, práticas como a da reciclagem, reutilização e otimização são aplicadas, mas a sua operacionalidade emerge num circuito regenerativo paralelo aos das estruturas vivas. O objetivo é reduzir a necessidade de recursos naturais, pelo aumento do ciclo de vida dos mesmos. No campo energético, a prática fundamenta-se na idealização de soluções que reduzam o consumo energético na generalidade das atividades humanas. Estas podem ser simplesmente por opções de desenho (organização espacial e construtiva), quer na idealização de mecanismos tecnológicos passivos ou ativos. Portanto, são políticas de redução do impacto ambiental por aumento da eficiência e da otimização das soluções humanas. Dentro desta linha de conotação ecológica, destacam-se na arquitetura as seguintes abordagens: desenho de alto desempenho, autossuficiência, green / eco e sustentabilidade (fig. 1).

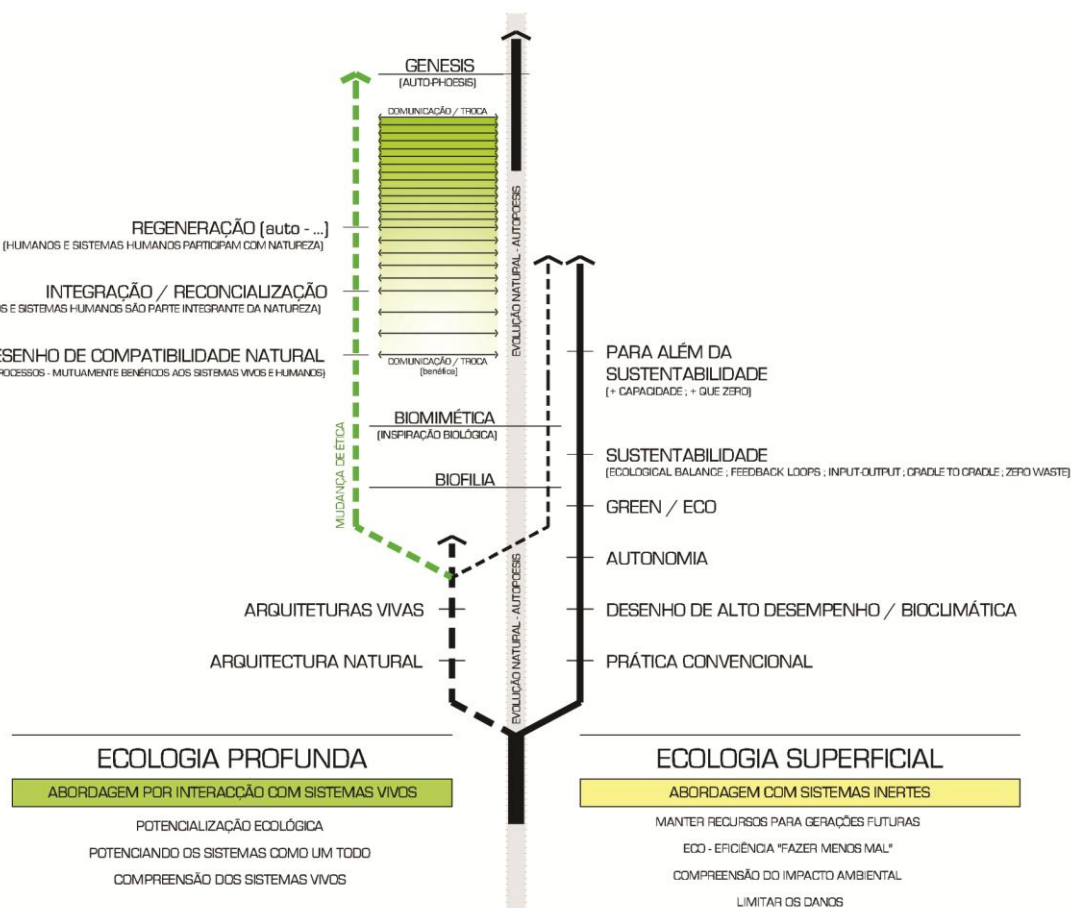


Fig. 1 – Estratégias de concepção ecológica.

O desenho de alto desempenho, é uma abordagem de desenho vulgarmente conotado de bioclimático. A sua prática fundamenta-se na procura de soluções passivas de manutenção do conforto ambiental, referenciadas nos fatores climáticos do local (Yeang, 1999). Não põem em causa a génese do processo construtivo atual, apenas procuram otimizar por via material e/ou de desenho, o conforto ambiental dos espaços arquitetónicos (fig. 2). Já a autossuficiência, partilha de muitos dos princípios do desenho de alto desempenho. Contudo, recorre a mecanismos tecnológicos para captar e transformar os fluxos energéticos passivos do local, para suprir as necessidades energéticas associadas ao conforto humano atual. É também frequente, na constituição da envolvente construtiva o recurso a materiais locais, naturais ou não, para reforçar a ideia de dependência ao local (fig. 3). Quanto ao movimento green (eco), apresenta-se como um conceito versátil em termos de conotação ecológica face aos anteriores. Foca-se em aspetos de reciclagem e reutilização, numa perspetiva de redução de consumo energético associada à produção e à operacionalidade. Portanto, é uma linha de concepção direcionada para o prolongamento do ciclo de vida material (Hosey, 2012; Mouzon, 2010). Não obstante, o seu rótulo é bastante mutável. Estes fundamentam-se em constantes comparações com soluções anteriores para poder confirmar o seu contributo ecológico (fig. 4). Por fim, a sustentabilidade surge como uma linha organizadora de todos os conceitos estabelecidos anteriormente, tendo como propósito futuro alcançar um impacto ambiental nulo (Edwards, 2005). O que a distingue

conceitualmente das outras linhas é a sua estruturação por parâmetros referenciais para um propósito ecológico (fig. 5). Os seus parâmetros requerem exigências em diversas áreas, centrando-se principalmente nas seguintes: materiais, uso do solo, contexto urbano, água, resíduos, ar, energia, desenho e ambiente interior. São exemplo detentores desses requisitos, a certificação Lider A, BREEAM e LEED (Pinheiro, 2006).



Passive House – Atelier ST (esq.). Casa iseami – Robles arquitetos (centro). Geyser – Patterson architects (dir.).

Fig. 2 – Exemplos de estruturas arquitetônicas bioclimáticas.



Earthships (esq.). Abrigo Monte Rosa – Bearth & Deplazes Architekten (centro). Fab Lab House – Daniel Ibanez (dir.).

Fig. 3 – Exemplos de estruturas arquitetônicas auto-suficientes.



Casa Palletes – Schnetzer Claus (esq.). Manson's Bend – Rural studio (centro). Pavilhão de Espanha no Floriádo – Pulgon Diseno (dir.).

Fig. 4 – Exemplos de estruturas arquitetônicas green / eco.



Edifício SIEEB – Mario Cucinella (esq.). Quinta Monroy – Alejandro Aravena (centro). Escola primário Gando – Diébédó Kéré (esq.).

Fig. 5 – Exemplos de estruturas arquitetônicas sustentáveis.

Já a ecologia profunda, rege-se por outras distintas premissas. O seu principal fundamento é a potenciação das estruturas vivas. As estruturas humanas, não só não devem interferir nos ciclos regenerativos das mesmas, como também devem contribuir para o seu fim. Nesta linha conceptual, podem-se encontrar duas abordagens distintas: as arquiteturas vivas e as arquiteturas naturais (fig. 1). No primeiro caso, a geração de estruturas é feita mediante a manipulação do crescimento de árvores (Reames, 2005; Strukturen 2013). Os seus seguidores defendem esta prática como sendo a mais ecológica, justificando-se com o facto de a matéria ser a própria vida (fig. 6). No segundo caso, a geração de estruturas arquitetónicas recorre a matéria orgânica. A matéria é moldada para determinados requisitos, sem que esta perca a sua composição orgânica inicial (fig. 7). A ideia é conseguir a sua reintegração espontânea na envolvente ambiental, finda a utilização humana (Rocca, 2007; Tatarella, 2014).



Weidendorf – Sanfte Strukturen (esq.). Pontes vivas – Meghalaya (dir.).

Fig. 6 – Exemplos de estruturas arquitetónicas vivas.



Casa de gelo – Steven Holl (esq.). Casa para refugiados - Nader Khalili (centro). Sonhos de infância – Patrick Dougherty (dir.).

Fig. 7 – Exemplos de estruturas arquitetónicas naturais.

Apesar da real pertinência da sua fundamentação no que respeita à sua intencionalidade ecológica, as suas práticas são bastante limitadas a inúmeros requisitos das atividades humanas atuais, daí a sua prospeção ser tão reduzida. Contudo, numa tentativa de dar a volta a esta situação, surgiram na ecologia profunda, outras duas linhas de desenho, a biofilia e a biomimética (fig. 1). Estas abordagens, têm como intuito transportar qualidades das estruturas

vivas para as estruturas humanas. A biofilia, surge como uma estratégia de conceção invasora. Esta pretende invadir o espaço arquitetónico, mais precisamente os elementos construtivos dos objetos arquitetónicos convencionais, com estruturas vivas. O objetivo é implementar um contacto permanente entre estas e o homem (Kellert, 2008) (fig. 8). Portanto, não estabelece alterações ao desenho estrutural das composições arquitetónicas, apenas impõe um novo elemento participativo nas mesmas. Esta estratégia ecológica coexiste muitas vezes com a estratégia de desenho bioclimática (Almisaed, 2011). Quanto à biomimética, é uma estratégia de conceção que recorre à imitação de determinados mecanismos / formas das estruturas vivas, com o objetivo de potenciar soluções nas estruturas humanas. Reconhecendo o homem, nas mesmas, uma capacidade única de otimizar forma face à função, pretende servir-se do seu conhecimento morfológico para resolver problemas de idêntica funcionalidade nas suas estruturas. (Mazzoleni, 2013; Myers, 2012). Portanto, é uma estratégia de conceção que visa em potenciar a relação forma / função nas soluções arquitetónicas, fundamentando-se exclusivamente a nível da identidade formal das estruturas vivas, em detrimento da sua caracterização material (Gruber, 2010; Lim, 2009) (fig. 9).



Casa e estúdio Belga – Samyn and Partners (esq.). Torre Flor – Edouard François (centro). Perdido em Paris – R & Sie (dir.).

Fig. 8 – Exemplos de estruturas arquitetónicas biofílicas.



Projeto Eden – Nicholas Grimshaw (esq.). Centro Internacional Media de Phoenix – BIAU Ufo (centro). Estádio Olímpico de Berlin – Frei Otto (dir.).

Fig. 9 – Exemplos de estruturas arquitetónicas de desenho bio.

Apesar de todas as práticas de concepção ecológica referidas serem práticas evolutivas por experimentação de conceitos e ideias, estas não estão a ser vistas como suficientes à resolução da problemática ecológica por parte de alguns autores. Tanto no campo da ecologia superficial, como na ecologia profunda, têm surgido opiniões de insatisfação pelas metas obtidas, alertando para a necessidade de aumentar a fasquia de exigência das mesmas. No caso da ecologia superficial, é contestada a abordagem por políticas de desaceleração das práticas danosas humanas na envolvente ambiental. Tentar equilibrar a fasquia fazendo menos mal, tal como a sustentabilidade se propõe, não é visto como suficiente (Gabel, 2007; Litmann, 2009). Na sua opinião, à que fazer mais que equilibrar, o que significa que à que cooperar com a envolvente ambiental. Portanto, é proposta deste autores, o abandono das políticas sustentáveis por outras que devem manter a ligação entre humanos e a natureza. Já no caso da ecologia profunda, contesta-se a sua ligação aos recursos tecnológicos da ecologia superficial. Por considerarem a crise ambiental uma crise de desenho, é sugerido que o processo de concepção deve abandonar as tecnologias degenerativas atuais. Como alternativa, deve fomentar um processo de desenho, que lentamente estabeleça um princípio de reconciliação com a envolvente ambiental. Conseguida esta etapa, propõem a sua lenta evolução para patamares de cooperação a nível regenerativo (Reed, 2003; Reed et al, 2007), ou seja, potenciação das práticas de concepção ecológica ao nível de um sistema vivo (Miller, 1978)

Embora estas opiniões contestatórias, não passem ainda de intenções pouco fundamentadas e de carácter utópico, não deixa de ser importante ressaltar uma opinião comum face ao conhecimento já adquirido. As metas ecológicas, requerem uma aproximação às estruturas vivas em todos os aspetos da sua essência, de modo a poderem integrar-se ativamente com as mesmas. Esta ideia é também partilhada por Alexander (2001), aquando da sua pertinência em associar a qualidade da forma arquitetónica, à sua capacidade de integração na envolvente. Ele apercebeu-se, que a perda de determinadas qualidades geométricas das estruturas vivas na arquitetura, retiram-lhe capacidade de integração espontânea na envolvente, o que segundo a sua opinião, se traduz em decréscimo da qualidade arquitetónica. O autor, está a querer demonstrar mediante uma abordagem geométrica, que a coerência é fundamental para a coexistência de diferentes estruturas no mesmo nível de igualdade, sendo que a coerência só é obtida pela partilha de qualidades que advêm de um mesmo processo. Portanto, Alexander (2003) propõe a ideia que a ecologia deve deixar de fazer-se pela cópia do objeto ecológico, para passar a fazer-se pelo processo que o gera, pois é dele que advém a essência da sua identidade. Contudo, segundo a sua opinião, para que as estruturas humanas se aproximem das estruturas vivas, não são só as qualidades geométricas que têm que ser transferidas, mas sim, todo o seu padrão ecológico.

2.1.2 PADRÃO ECOLÓGICO

Alexander sugere que a aproximação das estruturas humanas às estruturas vivas deve seguir um padrão ecológico. Contudo, não o clarifica nem o parametriza. Esta hipótese é apresentada por Craig Loehe (2004). Loehe defende que o padrão ecológico resulta da interação de pelo menos seis níveis de complexidade distintos. São eles: espaço, tempo, estrutura, processo, comportamento e geometria. Portanto, o autor estabelece um conjunto de áreas de investigação, em que o conhecimento das estratégias de concepção arquitetônica deve operar para um propósito ecológico. No entanto, esta proposta não é uma fórmula direta. Cada um destes níveis de complexidade irá ter que interpretar outras diferentes complexidades que compõem as estruturas vivas. Portanto, a aproximação das estruturas humanas às estruturas vivas, terá que ser realizada gradualmente, com a adição de pequenos contributos nos diferentes níveis de complexidade delineados. Tal processo será longo e demorado e decerto que não será sempre bem sucedido. Não obstante, aos resultados precários que possam estar a ser obtidos, não se lhes deve restringir a conotação ecológica, pois são resultados de um processo evolutivo que pretende contribuir para a aproximação da meta ecológica.

2.1.3 A PROBLEMÁTICA DA IDENTIDADE MORFOLÓGICA DAS ESTRUTURAS ECOLÓGICAS

A diversidade de soluções arquitetônicas geradas pelas estratégias de desenho ecológico atuais é bastante vasta. No entanto, desse leque de soluções, existe um número bastante significativo, senão mesmo maioritário, em que não é possível discernir a sua intencionalidade ecológica. As composições geométricas dessas estruturas, não evidenciam sinais morfológicos que as distingam de outras geradas pelo processo de desenho humano convencional. Este facto, é mais clarividente nas estratégias de desenho da ecologia superficial. Algumas delas tentam contornar este tipo de questões, aplicando nas suas soluções construtivas, materiais de origem orgânica. No entanto, o carácter morfológico das estruturas, pouco se altera em relação às soluções existentes fora desta intencionalidade construtiva (fig. 10). Exceção são as estruturas geradas pelas arquiteturas vivas e naturais. O homem, perante o uso de estruturas vivas ou de matéria orgânica na envolvente construtiva, demonstra uma concordância mais espontânea à sua conotação ecológica. Contudo, o tipo de composição geométrica a que essa matéria é submetida, reprime parte da emergência espontânea da identidade ecológica (fig. 11). Esta maior concordância ecológica com as estruturas que recorrem a esta materialidade, demonstra que o homem reconhece inconscientemente, uma identidade morfológica que conota de ecológica. A razão está na sua interação diária com estruturas com essa qualidade, que o informam como são. Portanto, se essa qualidade é reconhecida pelo homem, então a qualidade ecológica tem que carregar consigo uma identidade morfológica que permite a sua identificação.



Fig. 10 - Comparação morfológica entre estruturas de intuito ecológico (esq.) e estruturas convencionais (dir.).

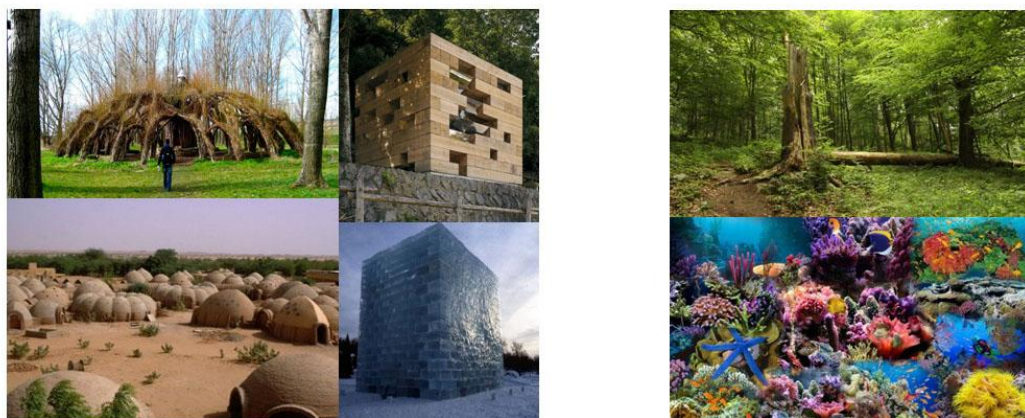


Fig. 11 – Comparação morfológica entre estruturas de concepção ecológica, recorrendo a estruturas vivas e matéria orgânica (esq.) com estruturas vivas (dir.).

A qualidade morfológica não é um assunto novo na problemática ecológica. A biomimética surgiu precisamente para preencher essa área do conhecimento. Esta tem-se dedicado a demonstrar a potencialidade das formas naturais em otimizar determinados objetivos humanos, mas sempre sem dissociar o propósito da forma a uma função. Portanto, é uma estratégia de desenho que recorre à cópia formal e não à geração da mesma. Contudo, para Alexander, a cópia pela semelhança não é suficiente para resolver a problemática da identidade morfológica nas estruturas arquitetónicas. Segundo a sua opinião, é o processo de geração que transporta as qualidades geométricas da identidade morfológica e não a forma. Este facto pode ser comprovado do seguinte modo. Independentemente da relação forma / função que as estruturas vivas revelem, o seu padrão geométrico é sempre igual. Portanto, o padrão é uma qualidade intrínseca à identidade que a faz ser reconhecível e não da forma. Isto demonstra, que este tipo de geometria tem qualidades próprias dissociadas da função. A função é algo que uma

identidade cognitiva impõe à geometria, face às características dos materiais e às condicionantes ambientais do local (Oxman, 2010). Daí a diversidade formal das estruturas vivas com a mesma identidade morfológica. Portanto, para o autor, apenas será possível implementar as qualidades geométricas desta identidade morfológica nas estruturas arquitetônicas, se se identificar as características geométricas inerentes, sem as dissociar do processo que as faz emergir.

Face à pertinência levantada por Alexander e ao intuito desta investigação de implementar qualidades morfológicas das estruturas vivas na forma arquitetônica, parece perentório analisar, que processos de desenho generativo de intuito ecológico, estão a ser implementados na fuga à cópia formal e como estas estão a responder à problemática da identidade ecológica.

2.2 PROCURA DA FORMA ECOLÓGICA. PROCESSOS DE GERAÇÃO DE FORMA COM ESTRUTURAS VIVAS OU COM CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS / COMPORTAMENTO DAS MESMAS – LINHAS DE INVESTIGAÇÃO.

Nos últimos anos, têm surgido no campo do desenho ecológico, algumas linhas de investigação que se têm destacado pela implementação de processos de desenho baseado nas características morfológicas das estruturas vivas e não, pela cópia das suas formas. Independentemente do processo adotado, os seus resultados têm revelado a emergência de qualidades morfológicas similares a estas. Sendo um dos propósitos desta investigação, a identificação de fatores que possam levar à emergência dessas qualidades, parece importante perceber, o que estes processos estão a introduzir na geração dos seus modelos que os processos de desenho ecológico correntes, não estão a conseguir fazer despontar.

As linhas de investigação dedicadas a esta temática podem ser interpretados mediante dois distintos grupos: a morfogenética digital (Hensel, 2004; 2006) e as arquiteturas vivas (Rocca, 2007; Tatarella, 2014). A morfogenética digital, baseia-se na compreensão da relação entre geometria e otimização material, tendo em conta as propriedades físicas dos materiais, a influência dos fatores climáticos e uma função. Nas arquiteturas vivas, a principal preocupação, também se centra na otimização material, mas numa diferente perspetiva. Ou pela utilização das próprias estruturas vivas como matéria construtiva, ou usando a capacidade metabólica das mesmas para produzir materiais.

2.2.1 MORFOGENÉTICA DIGITAL

O conceito de morfogenética digital introduzida na arquitetura é uma interpretação metafórica da sua origem, a morfogenética biológica. Partilha com esta, a ideia de um processo de desenvolvimento gradual, sem adotar os mecanismos de crescimento e de adaptação morfológica das estruturas vivas. O seu processo de desenho contempla a união dos conceitos de emergência (Mayr, 1997), auto-organização (Camazine, 2001) e matéria (natural ou sintética). A sua base generativa assenta sob a forma de algoritmos (padrões e regras), que são introduzidos num processo computacional, com o intuito de gerar formas que proporcionem máxima otimização dos recursos materiais envolvidos, mediante restrições de origem funcional, material e ambiental. Portanto, esta abordagem de desenho, procura contrariar a hegemonia da forma antecipadamente pensada, através da implementação de uma lógica de geração de forma sem pré conceção espacial por parte do homem. Neste campo, destacam-se os trabalhos de Neri Oxman (2010), Achim Menges (2012, 2014) e R & Sie (2010).

Neri Oxman

Neri Oxman, é uma investigadora que incide o seu trabalho no ramo do desenho ambiental e da morfogénese digital. Com o intuito de implementar processos de otimização material nas estruturas de carácter arquitetónico, Oxman decidiu comparar o processo de materialização das estruturas humanas, com o das estruturas vivas. Desta análise destacou duas particularidades das mesmas. Primeiro, as estruturas vivas não separam funções por materiais. O modo como é feita a sua distribuição pelas partes da estrutura, é que lhe confere diferentes funcionalidades. Segundo, as estruturas vivas organizam a matéria por questões de desempenho e não por questões formais. Perante estas deduções, Oxman deduziu que o processo de desenho humano atual impõe um uso totalmente despropositado à matéria. Face a esta pertinência, desenvolveu um modo de desenhar com a vida que utiliza, não só, os seus princípios de organização material, mas que é simultaneamente compatível com a produção humana. A esse método de desenho generativo chamou “Computationally Enabled Form Finding” (Oxman, 2010). Este método consiste numa ferramenta de desenho, com o propósito de gerar modelos tridimensionais, que reflitam qualidades de organização material das estruturas vivas. Este permite simultaneamente, a sua rápida materialização mediante o uso de técnicas de impressão 3D.

Para transpor tais qualidades para a ferramenta de desenho, o método teve que se fundamentar, não nos objetos onde emergem, mas sim, no processo que as leva a emergir. Tal facto levou Oxman a propor a inversão do processo de desenho atual. Em vez de se materializar uma forma previamente definida, é a matéria que informa o homem sobre o tipo de forma a adotar, tendo em conta as suas propriedades físicas, as restrições ambientais e a função a desempenhar. Portanto, este método de desenho retira o homem do poder de decisão formal.

Este apenas interpreta e insere na ferramenta, sobre a forma de algoritmos, os dados das propriedades dos materiais, das restrições ambientais e das exigências funcionais do objeto. O resultado formal é sempre uma consequência desses parâmetros, sendo as suas configurações geométricas sempre imprevisíveis. Quanto à configuração geométrica das formas, estas denotam configurações bastante irregulares, com padrões geométricos similares aos presentes nas estruturas vivas (fig. 12).

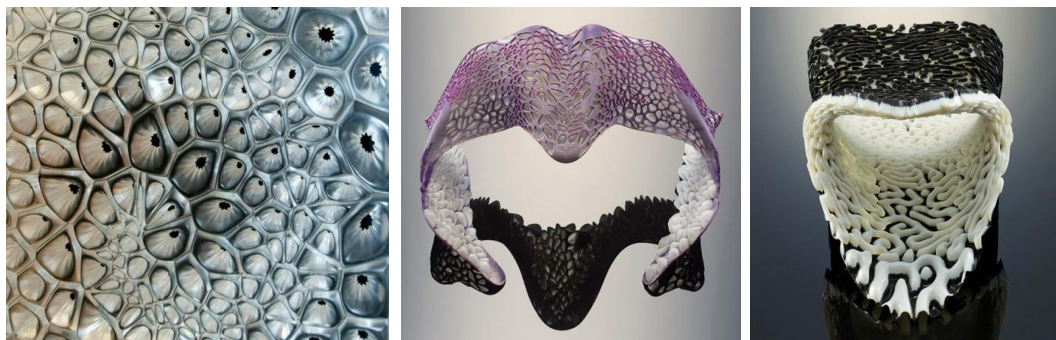


Fig. 12 - Neri Oxman _ Projetos.
Stalasso (esq.), Ramora (centro.) e Gravida (dir.)

Achim Menges

Achim Menges, é o exemplo de outro investigador que incide a sua pesquisa no domínio da Morfogénese digital. Este trabalha com um conjunto de métodos que emprega meios digitais, não como ferramenta de representação visual, mas como ferramentas generativas para a derivação da forma. Embora o seu trabalho siga os mesmos princípios de Oxman, este centra-se na interpretação dos estímulos que os fatores ambientais (calor, frio, humidade) impõem à matéria, mais precisamente, ao nível da contração e dilatação dos mesmos.

Recorrendo preferencialmente à madeira, Menges desenvolveu um projeto intitulado “hygroscope” (Menges, 2014) (fig. 13). Este projeto consiste na potenciação do movimento gerado pelas propriedades mecânicas de contração e dilatação da madeira, face à humidade de ar. A ideia é conferir a um conjunto de lâminas de madeira, capacidade de abertura e de fecho sem qualquer tipo de mecanismo manual ou elétrico. O fundamento do mesmo é feito apenas pelo estímulo do material às alterações de humidade no ar. O sucesso do projeto, tem direcionado a sua aplicação em estruturas de âmbito arquitetónico. São exemplo dessa aplicabilidade o pavilhão FAZ (Menges, 2014) e o pavilhão Hygroskin (Menges, 2014) (fig. 14). No primeiro caso, o sistema tem como intuito o fecho espontâneo de uma cobertura, sempre que a atmosfera apresente indícios de precipitação. No segundo caso, a abertura do sistema prende-se com questões de ventilação.



Fig. 13 – Projeto Hygroscope

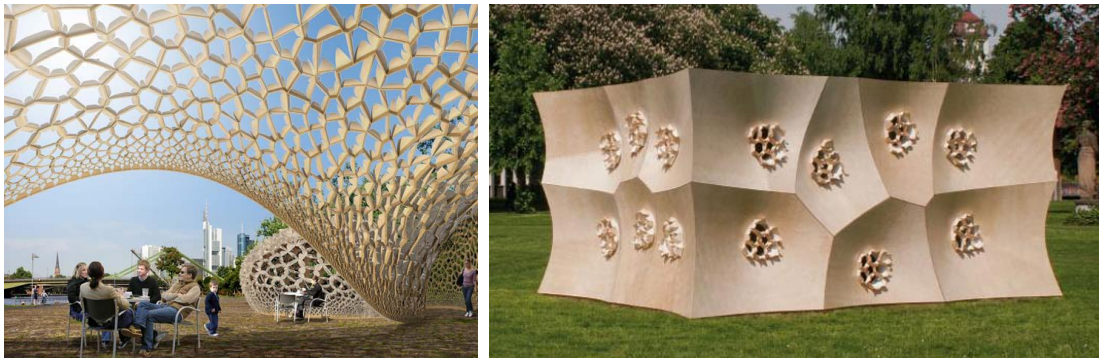


Fig. 14 - Pavilhão Faz (esq.), Pavilhão Hygroskin (dir.).

R & Sie

R & Sie, é um grupo formado por dois arquitetos franceses, François Roche e Stephanie Lavaux. Estes procuram incentivar o ato de conceção arquitetónica pela imprevisibilidade formal. Contestando o predeterminado desenho da cidade e dos edifícios formatados a procedimentos de planeamento rígidos sem qualquer tipo de imprevisibilidade, questionam-se sobre a possibilidade de esta metodologia ser distinta. Neste contexto, põem como hipótese, a possibilidade do desenho humano ser guiado por contingências humanas de momento e não por pré-antecipação. Tentando responder a esta perspetiva de conceção espacial, desenvolveram um projeto denominado “I’ve heard about...” (Corbellini, 2010). A sua função principal é a de servir como um lugar de habitação. A segunda função é ser relativa ao invés de pró-ativa. O modelo caracteriza-se por ser uma estrutura fratal, feita de secreções incertas e guiada por um processo generativo baseado em princípios de crescimento aleatório em permanente construção. O processo de crescimento é controlado por um algoritmo baseado nos seguintes parâmetros: restrições ambientais, restrições materiais, resistência estrutural, acessibilidades e stress dos residentes (fig. 15 e 16). A sua materialização é realizada por um sistema de impressão tridimensional.

Apesar de apresentar um propósito distinto do processo de desenho desenvolvido por Oxman, este detém uma linha de conceção formal comum. Existe a procura de forma, mediante um conjunto específico de parâmetros processados por uma ferramenta de base computacional. A diversidade formal que consegue gerar, também reflete uma identidade morfológica. Esta caracteriza-se pela adição de “células” de configuração irregular e com uma relação de interdependência perante as confinantes. Este tipo de padrão denota bastantes similaridades com o padrão geométrico que os mecanismos de crescimento impõem nas estruturas vivas. Tal demonstra, que o acréscimo desta qualidade ao processo generativo da forma faz transportar para as mesmas, padrões geométricos das suas propriedades.

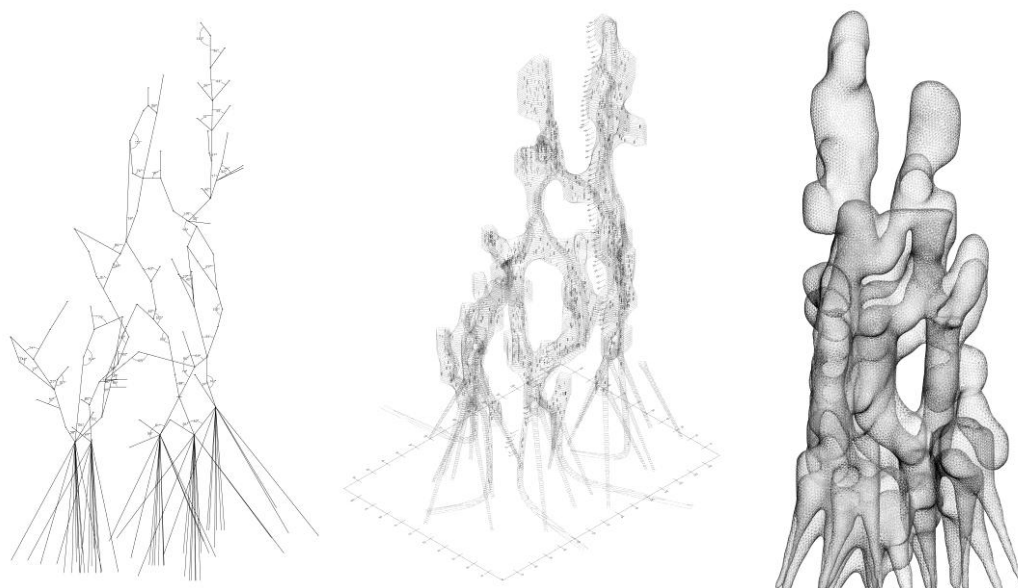


Fig. 15 – Processamento dos dados do logaritmo em forma.



Fig. 16 – Exemplos de modelos de carácter arquitetónico concebidos por improbabilidade formal.

2.2.2 ARQUITETURAS VIVAS

Num campo onde o recurso a ferramentas digitais perde influência face aos recursos metabólicos das próprias estruturas vivas, destaca-se a linha de investigação das arquiteturas vivas. O trabalho desenvolvido pode ser abordado mediante duas perspetivas distintas. Uma onde se destacam estratégias de conceção espacial com inclusão estruturas vivas, (Mitchell, 2011; Sanfte Strukturen) e outra, onde se destacam as estratégias de conceção espacial usando qualidades metabólicas das mesmas (Magnus Larsson e Rachel Armstrong).

2.2.2.1 Estratégias de conceção espacial com estruturas vivas

O processo de desenho deste tipo de estratégia caracteriza-se por recorrer totalmente a estruturas vivas para materializar a envolvente construtiva dos seus modelos. A ideia é tentar materializar a arquitetura com estruturas presentes neste período espaço / temporal, de modo a usufruir das mesmas, tal como elas existem. Neste tipo de abordagem, destacam-se os projetos Fab tree House de Joachim Mitchell (2008, 2010) e Auerworld Palace de Sanfte Strukturen (2013).

Joachim Mitchell

O projeto “*Fab Tree House*” apresenta-se no panorama arquitetónico, mediante um conceito de construção por crescimento. Para tal, propõe que as casas sejam cultivadas e moldadas através de uma tecnologia existente há 2500 anos e designada por “pleaching” (fig. 17) (Reames, 2005). Esta tecnologia consiste na manipulação do crescimento de árvores por modelação a uma configuração geométrica preestabelecida. Em oposição às técnicas do passado, Mitchell incorpora nesta tecnologia, o controle numérico computadorizado para criar a estrutura referencial do modelo. O objetivo é fazer com que a matéria semi-independente das árvores se adeque de um modo preciso à geometria requerida, a fim de concretizar o seu modelo conceptualizado de casa. Com esta técnica, Mitchell ambiciona gerar modelos compostos por materiais 100% vivos e tornar os modelos arquitetónicos indistintos da envolvente ecológica (fig. 18). Segundo a sua opinião, este tipo de solução irá permitir-lhe gerar modelos totalmente integrados numa comunidade ecológica, isto porque, eles são o próprio ambiente.



Fig. 17 – Fab tree house
Processo de manipulação do crescimento das árvores na construção do modelo de caráter arquitetônico _ “pleaching”.



Fig. 18 – Modelo exemplificativo do projeto “Fab tree house”.

Sanfte Strukturen

Sanfte Strukturen, é um grupo de arquitetos alemães, que desenvolvem projetos na área das arquiteturas vivas desde 1970. O grupo fundamenta o seu trabalho, na necessidade de voltar a ligar a humanidade à natureza através do ambiente construído. Opondo-se completamente ao mundo tecnológico, usam materiais e técnicas básicas, para gerar estruturas arquitetônicas de aparência indígena. Uma das suas técnicas na concepção de modelos é o pleaching (Reames, 2005). Embora recorrendo à mesma técnica de Mitchell, estes não manipulam a forma ao longo do seu crescimento. É predefinido um modelo formal guia, que estabelece o posicionamento das árvores (salgueiro) e a sua modelação. Estas são introduzidas já com o porte adequado à sua idealização. Apenas são aplicadas técnicas de entrelaçamento para estabelecer a união entre as mesmas. As configurações geométricas adotadas para os modelos guias, têm uma tendência para a reminiscência de formas de plantas de catedrais, o que lhes confere uma idealização geométrica muito regular (fig. 19).

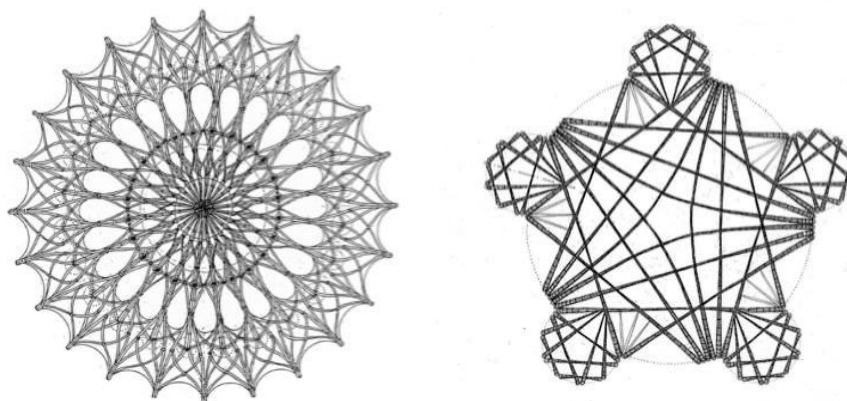


Fig. X – Configuração geométrica de dois modelos _ planta de Auerworld Palace (esq.) e Wiedenblume (dir.).

O que há de ressaltar neste processo de concepção arquitetônico, é a tendência das estruturas vivas em transportar, ao longo do tempo, a forma guia para o seu universo morfológico. As constantes transformações aleatórias e imprevisíveis da sua morfologia vão destruindo a rigidez da forma guia, tornando-a mais irregular e disforme (fig. 20). A forma vai tornando-se mais expressiva e dinâmica. A sua identidade morfológica vai tornando-se mais coerente com as restantes estruturas vivas que povoam a envolvente ambiental. Portanto, com a saída do homem do processo generativo da forma, as estruturas vivas começam a impor à morfologia do objeto a sua identidade morfológica.



Fig. 20 - Auerworld Palace em 1998 (esq.) e em 2010 (dir.).

2.2.2.2 Estratégias de concepção espacial usando qualidades metabólicas das estruturas vivas

Esta segunda linha de investigação das arquiteturas vivas, destaca-se pelo aproveitamento das capacidades metabólicas das estruturas vivas para fins de concepção estrutural. Nestes casos, estas não irão fazer parte da componente material dos modelos arquitetónicos. O seu papel no processo de geração limita-se apenas à fabricação da matéria.

Dependendo dos casos, estes podem ser ou não retirados do modelo após a finalização do mesmo. Nos casos em que se mantêm, estes continuam a desempenhar funções de reparação estrutural. Neste tipo de abordagem, destacam-se os projetos “Turning dunes into architecture” de Magnus Larsson (2010) e “Architecture that repairs itself” de Rachel Armstrong (2009).

Magnus Larsson

Dentro da temática do aproveitamento das capacidades metabólicas dos organismos como fonte material, destaca-se o projeto “Turning dunes into architecture” de Magnus Larsson. Para combater a desertificação do deserto do Sarah, Larsson propõe a construção de estruturas arquitetónicas nas dunas, através da solidificação da areia. Para tal, recorre à ajuda de um microrganismo denominado *Bacillus Pasteurii* (fig. 21), que tem a particularidade de produzir quimicamente, uma espécie de cimento natural (calcite) capaz de ligar dois grãos de areia (fig. 21).

O processo de construção proposto por Larsson, passa por inundar a areia com bactérias capazes de transformar o material em cimento, moldando-o em estruturas inspiradas nas formas do tafoni (fig. 21). Este aspira obter com estas estruturas, soluções arquitetónicas onde a diferença de temperatura entre o interior das dunas e o solidificado da superfície exterior torne possível a criação de áreas, que tanto podem apoiar a colheita de água, como criar zonas de conforto térmico habitáveis. Desta forma, Larsson pretende fazer crescer um “oásis” controlado no deserto, com o objetivo de evitar o desalojamento em massa das pessoas para longe das suas casas e aldeias (fig. 22).



Fig. 21 – Microrganismo – *Bacillus Pasteurii* (esq.).
Ensaio laboratorial de solidificação de areia (centro.). Tafoni, efeito de erosão em rochas (dir.).

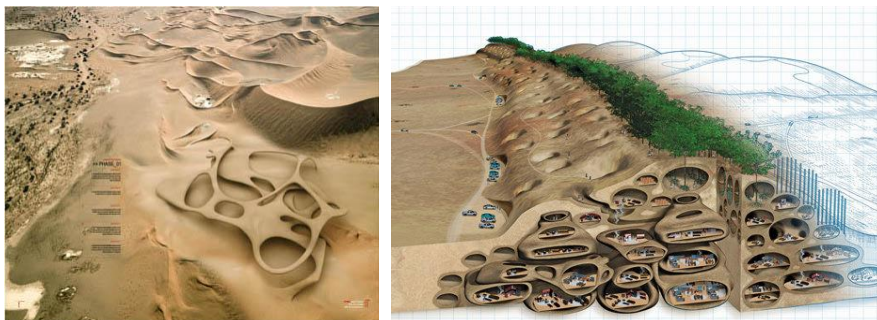


Fig. 22 – Estruturas areníticas inspiradas no “tafoni”.

Rachel Armstrong

Dentro da mesma temática, mas numa distinta linha de pensamento, surge o trabalho realizado por Rachel Armstrong (Architecture that repairs itself). Armstrong, também procura incorporar sistemas vivos no ato de construção. No entanto, propõe-se a fazê-lo de uma forma bem diferente da de Larsson. Não é sua intenção trabalhar com estruturas vivas, mas sim, incutir capacidade metabólica aos materiais inertes mediante a inclusão de protocélulas (Armstrong, 2011) (fig. 23).

A protocélula é uma estrutura artificial, que representa o primeiro modelo simples de uma célula sintética que exhibe os atributos de estar vivo. O seu especial interesse no campo da arquitetura prende-se com a possibilidade de estas poderem conferir capacidade generativa aos materiais pétreos. Detendo estas células, a capacidade metabólica de transformar CO₂ em pedra, Armstrong propõe a sua inclusão nesses materiais com um intuito regenerativo. Para clarificar melhor esta ideia, ela tenta demonstrar a sua aplicação nas fundações da cidade de Veneza. A aplicação das suas protocélulas, poderiam não só controlar a degradação das pedras, bem como a sua regeneração, através de um processo metabólico artificial (fig. 24).

Armstrong aborta esta tecnologia como a ponte de transição de materiais inertes para materiais vivos. Desde modo, os modelos constituídos por materiais com informação metabólica, poderão responder gradualmente aos ambientes e aos habitats locais geograficamente distintos. Isto permitiria criar formas construtivas, cuja especificação e variabilidade seriam comparáveis às observáveis nos sistemas biológicos.

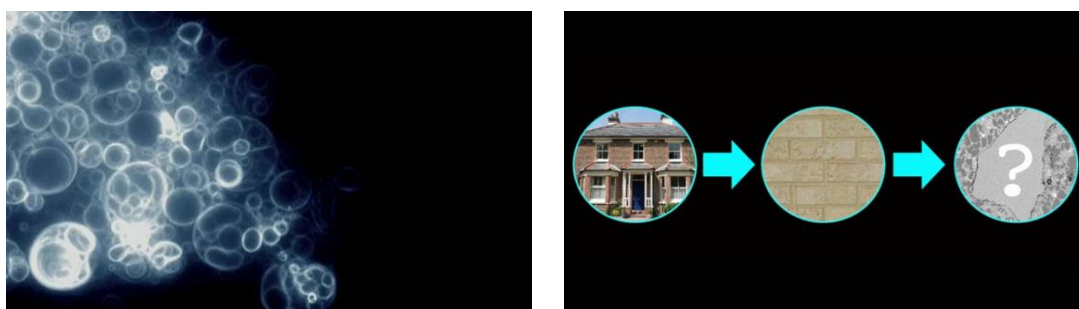


Fig. 23 – Imagem microscópica de uma colónia de protocélulas (esq.).
Transformação de materiais inertes em materiais vivos (dir.).

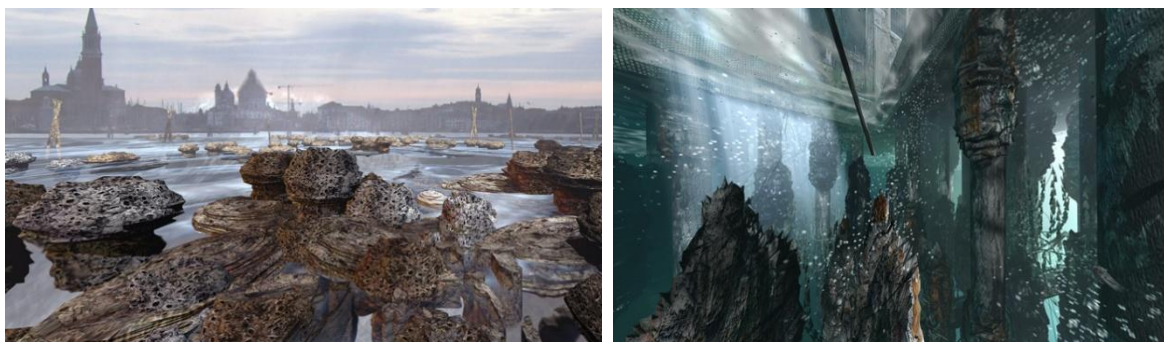


Fig. 24 – Desenhos especulativos de Christian Kerrigan.
Demonstração do potencial da aplicação de materiais metabólicos na criação
de um recife aquático na cidade de Veneza.

2.2.3 CONCLUSÃO

É perceptível, que a inclusão de vida no processo de desenho, quer pela introdução de organismos vivos, quer por cópia de comportamentos, formas e processos, incute nas diversas estruturas idealizadas uma grande similaridade formal. Contudo, também é possível perceber, que a maior ou menor intensidade de padrões geométricos similares que ocorrem nas estruturas, está diretamente relacionado com a intensidade com que o homem influencia o processo de geração. Quanto menor for a intervenção humana no processo, mais complexa e não uniforme se revela a forma. A “intromissão” humana fixa a variável formal como a prioridade máxima do processo. Se o homem se libertar da prioridade formal, a intervenção humana limita-se a provocar ações que serão interpretadas pela matéria. Portanto, quanto mais liberdade for dada à matéria para gerar, mais ela transportará para as estruturas, os complexos processos de geração das estruturas vivas. Este fenómeno é visível nos modelos desenvolvidos por Rachel Armstrong, Neri Oxman e R & Sie. Nos respetivos processos, existe um propósito, mas não uma idealização formal. A matéria, quer por um processo metabólico (protocélulas), quer por um processo de cálculo digital, responde à intencionalidade desejada mediante forma. Essa forma é o modo como a matéria resolve o problema da ação a que foi submetida. No caso das estruturas geradas por Joachim Mitchell e Sanfte Strukturen, apesar da matéria em uso ser viva, esta irá moldar-se a uma idealização humana. A configuração geométrica das estruturas vivas, passa muito superficialmente para a composição geométrica das estruturas humanas, isto porque, a forma idealizada pelo homem, não é produto da matéria que a formaliza. Contudo, as estruturas vivas conseguem fazer-se manifestar pela sua identidade, isto porque, a matéria que constitui a idealização humana, ainda impõe restrições quanto à manipulação da sua matéria.

Independentemente do nível de complexidade geométrica presente nestas estruturas, estas denotam uma composição geométrica distinta das estratégias de desenho ecológico corrente (fig. 25 A). Por outro lado, verifica-se por parte destas, uma maior aproximação à

configuração geométrica das estruturas vivas (fig. 25 B). Que se pode deduzir? Que a vida deixa uma espécie de “assinatura” nas estruturas em que se manifesta, ou seja, transmite-lhes uma identidade morfológica. Se assim é, então esta possui um processo de composição geométrico, aplicável a toda a matéria onde se manifesta. Mas qual? E que tipo de geometria a caracteriza?

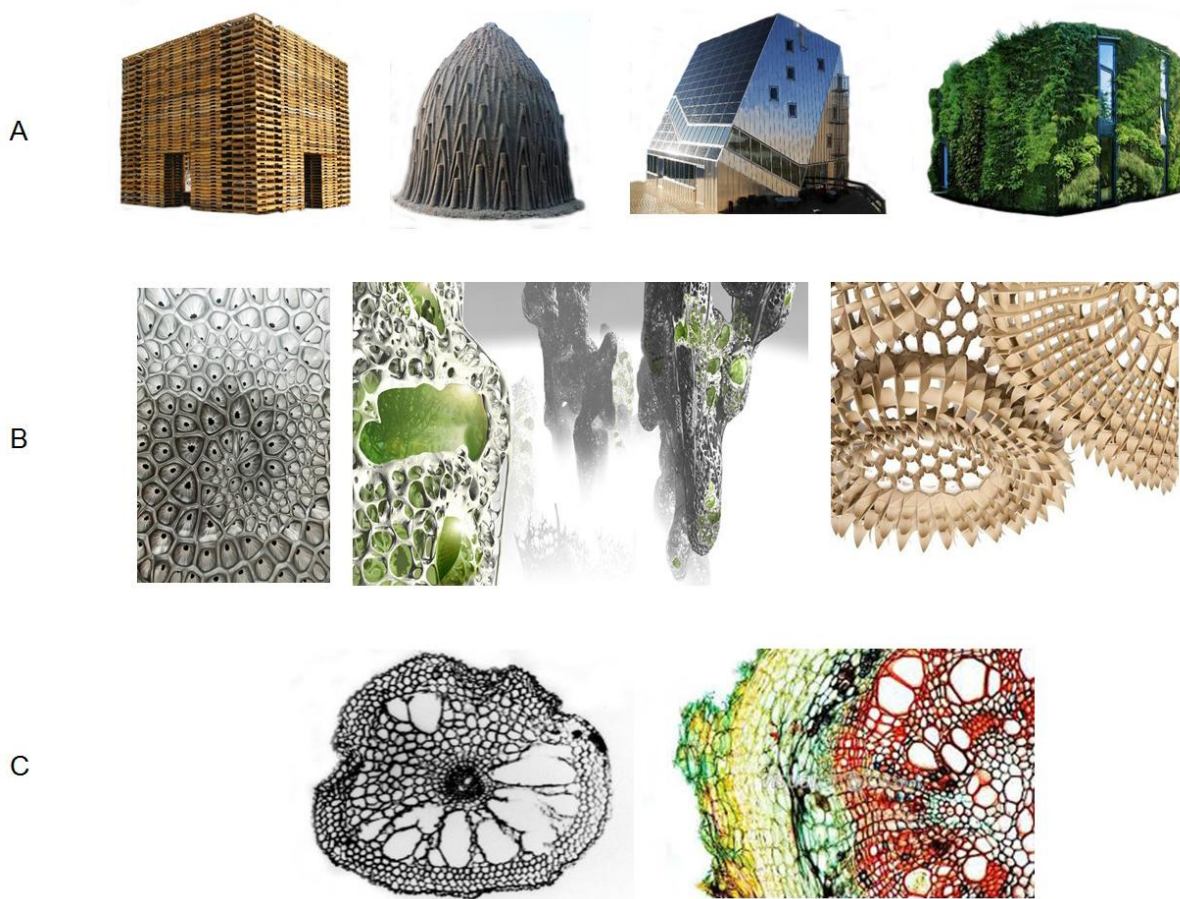


Fig. 25 – Comparação morfológica de estruturas de conotação ecológica.

- (A) – Implementação de conceitos ecológicos com estratégias de desenho divergentes à das estruturas vivas. (B) – Geração de forma pela interpretação dos processos de desenho inerentes às características estruturais das estruturas vivas. (C) – Identidade geométrica das estruturas vivas.

2.3 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DAS ESTRUTURAS VIVAS – ABORDAGENS

A introdução de qualidades estruturais, metabólicas ou de comportamento das estruturas vivas em processos de desenho humano, revelaram despontar nos modelos um particular padrão geométrico. Tendo em vista a sua interpretação, é intenção da seguinte fase metodológica, tentar perceber que tipo de geometria é essa e que características a definem. Existem, neste campo, pelo menos três tipos de abordagens distintas. Cada uma delas interpreta uma determinada qualidade geométrica das estruturas vivas (crescimento, identidade, mínimo inventário / máxima diversidade).

2.3.1 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS _ ABORDAGEM PELO CRESCIMENTO

Na abordagem associada aos mecanismos de crescimento, destacam-se as investigações de Christopher Alexander e D'arcy Thompson.

2.3.1.1 Christopher Alexander (The nature of order)

Christopher Alexander é um conceituado matemático e arquiteto austríaco, que tem dedicado grande parte da sua carreira, ao estudo de padrões geométricos e matemáticos no campo da arquitetura e do urbanismo. Em “ The nature of order”, Alexander (2001, 2003, 2004, 2006) aborda a temática da qualidade arquitetónica, mediante uma análise de padrões geométricos. Esta obra é o resultado de uma posição bastante crítica face à qualidade da arquitetura atual. Segundo a sua opinião, a qualidade da arquitetura nunca foi tão má como aquela que se tem presenciado desde o séc. XX, justificando essa posição, pela cada vez mais vinculada separação da imagem arquitetónica dos sistemas naturais.

Alexander defende uma visão científica do mundo, em que todo o espaço-matéria tem perceptíveis graus de vida, quer seja uma estrutura viva ou não. Essa graduação de vida é delimitada por um conjunto de características geométricas definidas pelo autor. As características, são o resultado de um processo de interpretação morfológica, ao que acontece quando uma estrutura tem vida e quando não o tem. Dessa análise, resultou um conjunto de quinze características, que o autor definiu como sendo um padrão geométrico indissociável das estruturas vivas, o que lhes confere, segundo a sua opinião, o grau máximo de vida. Portanto, segundo esta lógica, quanto menos características geométricas uma estrutura possuir, menos intensidade de vida apresenta. É com fundamento neste princípio, que o autor justifica a sua opinião da qualidade arquitetónica atual. A razão da justificação por estas características, deve-se ao facto, de as mesmas não serem estranhas à arquitetura.

Para demonstrar a solidez da sua teoria, Alexander descreve essas mesmas características, recorrendo à sua exemplificação em estruturas vivas e em estruturas arquitetónicas.

As 15 características geométricas das estruturas vivas de Alexander.

Como já referenciado, Alexander (2001) identificou um conjunto de quinze características na identidade morfológica das estruturas vivas, que utilizou para clarificar a sua abordagem da qualidade arquitetónica com graus de vida. Para tal, tentou sempre demonstrar a sua presença tanto nas estruturas vivas, como nas estruturas humanas de carácter arquitetónico. As características por si referenciadas são as seguintes: níveis de escala, centros fortes, limites, repetição alternada, espaço positivo, boa forma, simetrias locais, ambiguidade e ligação profunda, contraste, gradientes, rugosidade, ecos, o vazio, simplicidade e sem separação.

1 – Níveis de escala

Com os níveis de escala, Alexander pretende demonstrar que o tipo de forma dinâmica, compacta e coesa das estruturas vivas, está relacionada com as variações de proporção existentes entre elementos adjacentes da mesma estrutura. Segundo autor, quando mais pequenos forem os saltos, mais coesas se revelam as estruturas. A ordem de grandeza que identificou como predominantes na coesão estrutural, rondam os seguintes valores: $1/2$, $1/3$ e $1/4$ (fig. 26). A última, apresenta-se como a variação máxima tolerada pelo equilíbrio estrutural. Valores superiores a este despontam, segundo a sua opinião, rotura estrutural, originando perda de coesão e intensidade de vida.

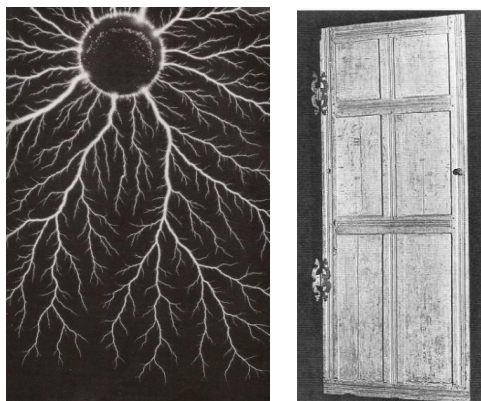


Fig. 26 – Níveis de escala.

Exemplo de níveis de escala na natureza _ descarga elétrica (esq.). A ramificação que caracteriza este tipo de estrutura natural revela pequenos saltos de escala à media que se subdividem em novas ramificações.

Exemplo de níveis de escala na arquitetura _ porta de madeira talhada (dir.) A porta é constituída por diversos elementos do mesmo carácter morfológico, com pequenas variações de escala.

2 – Centros fortes

As composições geométricas das estruturas vivas, possuem sempre um campo vetorial, ou seja, são estruturadas para evidenciar uma zona em particular da composição (fig. 27).



Fig. 27 – Centros fortes.

Exemplo de centros fortes na natureza _ flor de orquídea (esq.). Os elementos que compõem a flor evidenciam a zona de arranque das pétalas, sendo este o centro forte da composição.

Exemplo de centros fortes na arquitetura _ Mosteiro de Kairouan (dir.). A composição geométrica do mosteiro organiza-se em redor de um pátio. Esta envoltura torna-o a zona em evidência na composição.

3 – Limites

Alexander define esta característica, como sendo uma zona sólida com propriedades e formas próprias, que delimitam dois fenômenos distintos. A função do limite é unir e separar a envolvente do centro. Para tal, os limites têm que ser diferentes e separados do centro e da envolvente, mas devem conter elementos de ambos. Contudo, para que o limite cumpra a sua função, é fundamental que este e o centro se manifestem na mesma ordem de magnitude (fig. 28).

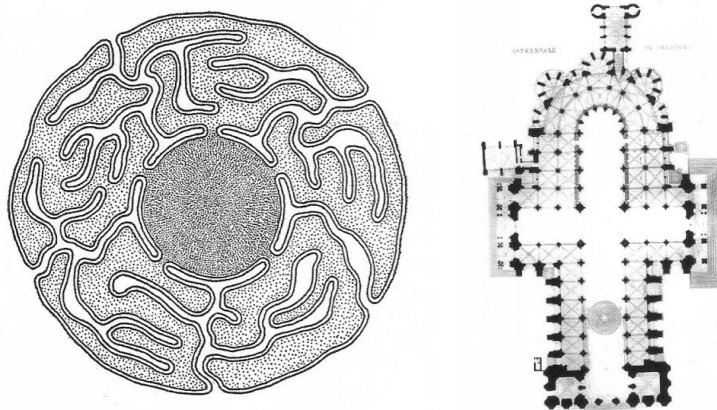


Fig. 28 – Limites.

Exemplo de limites na natureza _ representação de uma célula (esq.). O núcleo é totalmente envolto por uma massa distinta, que o separa do contacto directo com a envolvente. A ordem de grandeza dessa zona de transição é idêntica à do núcleo em toda a sua envoltória.

Exemplo de limites na arquitetura _ Planta da Catedral de Chartres (dir.). A nave principal e transepto (centro), são envolvidos por uma outra massa de distinta configuração geométrica e de idêntica ordem de grandeza (naves laterais, vestibulo e abside).

4 – Repetição alternada

Alexander padroniza a repetição existente nas composições geométricas destas estruturas, como sendo uma repetição de alternância de elementos. Normalmente, uma assume mais preponderância que a outra, mas tal facto não as impede de poder ter a mesma ordem de grandeza. Este tipo de repetição tem outra característica, não é exata. A variação formal e posicional daí resultante confere às composições geométricas efeito de oscilação (fig. 29).

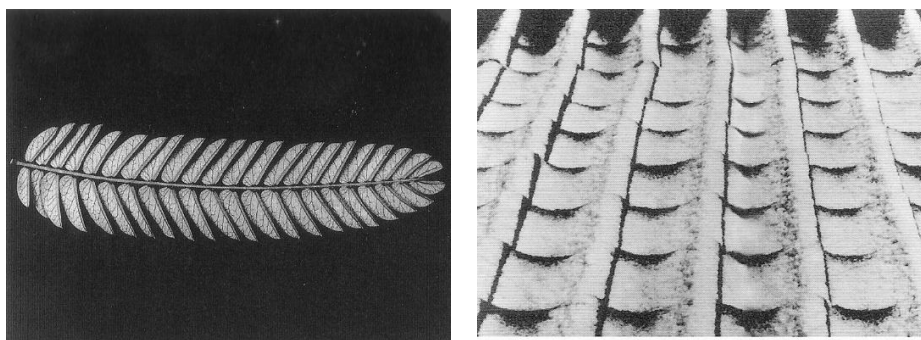


Fig. 29 – Repetição alternada.

Exemplo de repetição alternada na natureza _ folha de feto (esq.). Alternância entre cheio e vazio. Exemplo de repetição alternada na arquitetura _ telhas (dir.) Alternância entre dois sistemas de forma distintos, sendo uma delas preponderante face à outra.

5 – Espaço positivo

As formas dos elementos estruturais que dão corpo à composição geométrica das estruturas vivas são sempre fechadas. São sustentadas em si mesmas, com limites bem definidos e perfeitamente distinguíveis das formas que lhe são adjacentes. Não resultam de outras formas, nem dão forma a outras (fig. 30). É esta particularidade geométrica, que o autor define por espaço positivo.

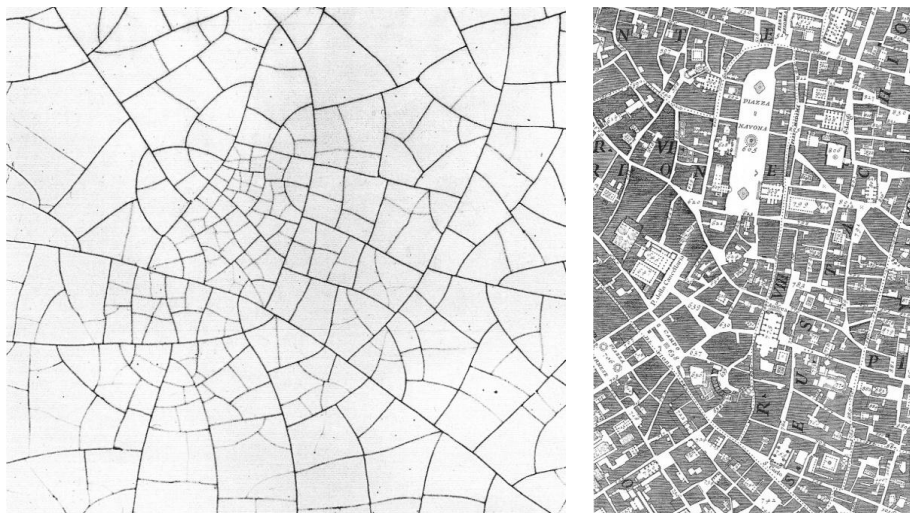


Fig. 30 – Espaço positivo.

Exemplo de espaço positivo na natureza _ Pasta de porcelana (esq.).

As fendas produzem áreas fechadas facilmente identificáveis.

Exemplo de espaço positivo na arquitetura _ Plano Nolli de Roma. A malha urbana é composta por elementos fechados ligados em continuidade, onde cada elemento evidencia claramente os seus limites.

6 – Boa forma

Segundo a opinião de Alexander, as estruturas vivas detêm uma forma “perfeita”. É esta perfeição geométrica, que o autor designa por boa forma (fig. 31). Segundo as suas pesquisas, uma composição geométrica com esta conotação, detém as seguintes características:

- 1 - tem um alto grau de simetrias internas;
- 2 - é quase sempre definida por uma simetria bilateral;
- 3 - tem um centro bem definido, que não necessita de ser o centro geométrico da forma;
- 4 - têm espaço positivo;
- 5 - são fortemente distintas daquilo que a rodeia;
- 6 - são relativamente compactas, dentro das proporções dos níveis de escala (1:1, 1:2, 1:4);
- 7 - são formas fechadas que transmitem a sensação que estão completas.
- 8 - são constituídas por formas elementares.

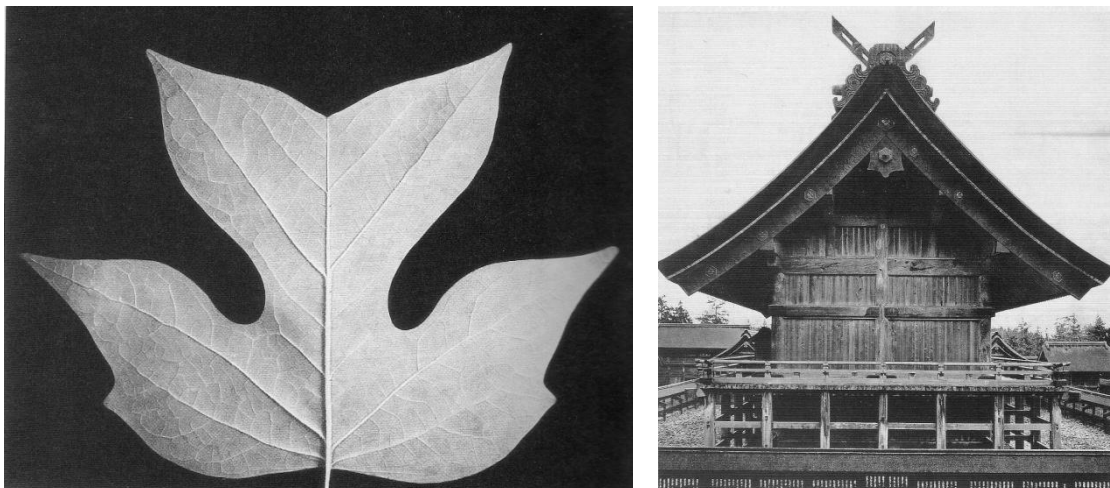


Fig. 31 – Boa forma.

Exemplo de boa forma na natureza _ folha de tulipa(esq.).
Exemplo de boa forma na arquitetura _ Santuário Japonês (dir.).

7 – Simetrias locais

As estruturas vivas, embora sejam frequentemente simétricas, não têm uma simetria perfeita. A disposição geométrica dos elementos em simetria são semelhantes, mas não são iguais. É a esta aproximação por semelhança, que Alexander denomina de simetrias locais (fig. 32). Esta qualidade geométrica é recursiva, ou seja, uma forma com simetrias locais tem que ser constituída por elementos estruturais que possuam esse tipo de simetria, senão esta não desponta no todo compositivo.

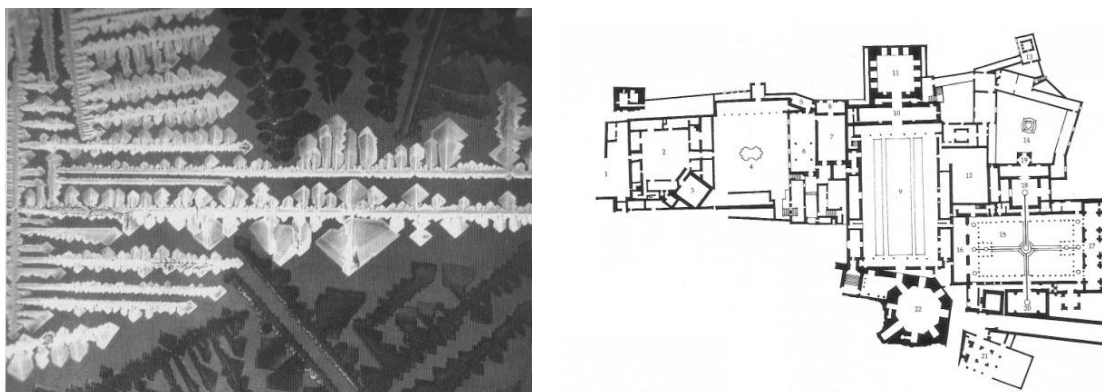


Fig. 32 – Simetrias locais.

Exemplo de simetrias locais na natureza _ Crescimento de cristal (esq.). Os elementos que compõem o processo de crescimento de um cristal revelam todos eles, uma composição por simetria bilateral não exata.
Exemplo de simetrias locais na arquitetura _ Planta de Alhambra (dir.). A composição geométrica do plano de Alhambra revela simetria bilateral não exata a partir do corpo central da composição.

8 – Ambiguidade e ligação profunda

As estruturas vivas, detêm um forte poder de encaixe com a envolvente. Segundo Alexander, esse encaixe pode manifestar-se através de uma ligação profunda ou pela ambiguidade. A ligação profunda é aplicada essencialmente em formas em que a área da superfície é grande quando comparado com o volume. A ligação com a envolvente é feita com superfícies estendidas, alargadas e sinuosas, mas a envolvente não invade o volume formal. A ambiguidade é um fenómeno idêntico ao anterior, mas a envolvente e o volume da forma sobrepõem-se. Pertencem simultaneamente aos dois sistemas, criando uma espécie de fusão tridimensional (fig. 33).



Fig. 33 – Ambiguidade e ligação profunda.

Exemplo de ambiguidade e ligação profunda na natureza _ Secção transversal do cérebro (esq.).

A ligação sinuosa entre as distintas massas do cerebellum torna-as difíceis de separar.

Exemplo de ambiguidade e ligação profunda na arquitetura _ Edifícios com arcadas (dir.). As arcadas convidam a envolvente espacial a participar na zona limite dos edifícios. Este jogo de invasão ajuda a criar uma zona de fusão entre duas massas distintas, que favorece a ligação entre as mesmas.

9 – Contraste

A ideia subjacente ao contraste é a diferenciação. E para haver diferenciação tem que haver oposição. A oposição está na origem da delimitação das formas. Sem oposição, não é possível diferenciar uma forma de outra que lhe é adjacente (fig. 34). Contudo, segundo o autor, a diferenciação tem que ser imponente. Os opostos têm que se aniquilar. São exemplo de oposições imponentes, os seguintes tipo de contraste:

- Contrastes comuns – Preto / branco ; escuro / claro.
- Outros possíveis contrastes – Cheio/vazio; sólido/vazio; dinâmico/calmo; vermelho/verde ; azul/amarelo.

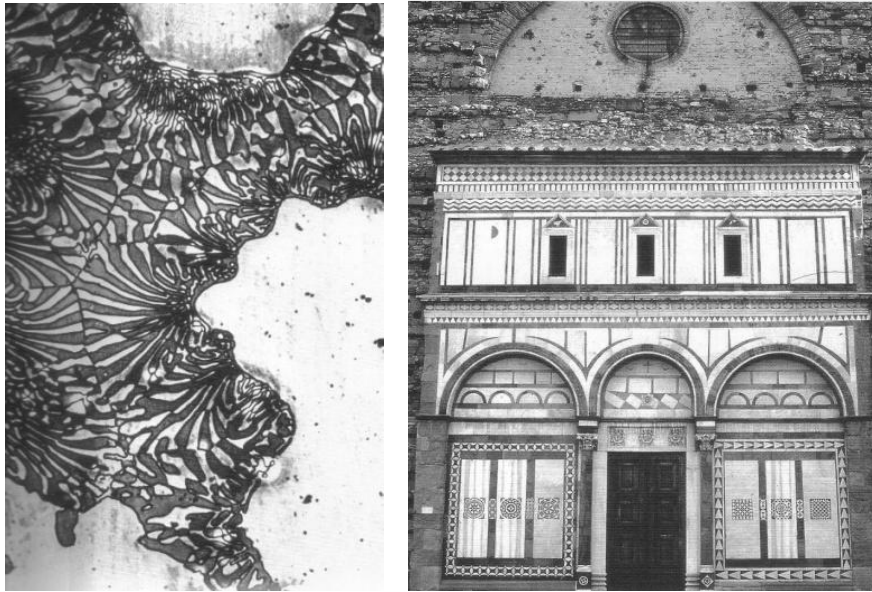


Fig. 34 – Contraste.

Exemplo de contraste na natureza _ liga de ero berílio (esq.). Este tipo de liga, retira a sua força da interação de dois materiais contrastantes.

Exemplo de contraste na arquitetura _ Igreja Toscana (dir.). O jogo de diferentes contrastes (dinâmico e calmo, escuro e claro, cheio e vazio), permite uma clara leitura da composição geométrica da estrutura. Esta clarividência é o resultado direto da fácil identificação dos elementos estruturais que a constituem.

10 – Gradientes

Sempre que existe uma variação progressiva da quantidade de algo no espaço, há um fenómeno gradiente. Alexander evoca a importância deste fenómeno na criação de direções. O efeito gradiente, requer sempre uma alteração gradual no tamanho de todas as formas, segundo uma direção e através da repetição de elementos. Numa estrutura viva essas direções revelam um sentido predominante do limite para o centro (fig. 35).

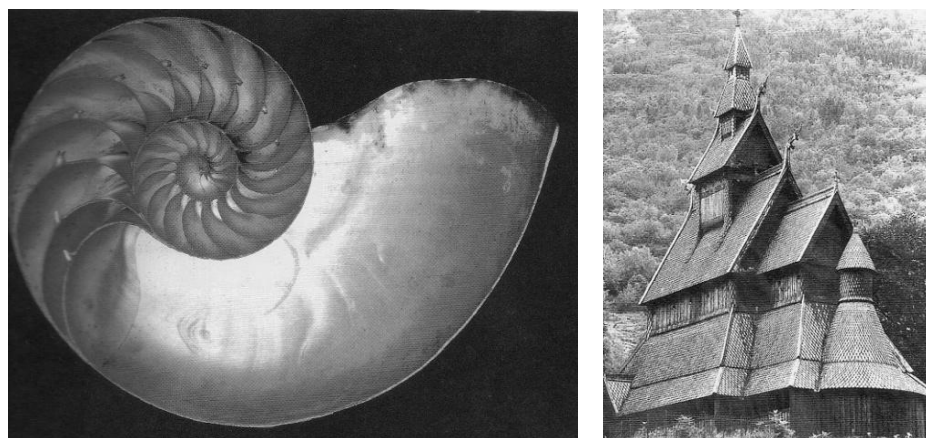


Fig. 35 – Gradientes.

Exemplo de gradientes na natureza _ secção transversal da concha do Nautilus (esq.). Os elementos geométricos apresentam um crescimento lento e progressivo a partir de um centro.

Exemplo de gradientes na arquitetura _ Igreja Heddal Stave (dir.). Cadência progressiva de elementos desde a base ao cimo da torre.

11 – Rugosidade

A rugosidade é uma característica formal sempre presente na composição morfológica das estruturas vivas. Segundo Alexander, a razão da sua manifestação está diretamente relacionada com a irregularidade geométrica dos elementos (fig. 36). Se a forma for composta por elementos geometricamente perfeitos e dispostos de um modo equidistante e sem falhas, a rugosidade não se manifesta. Portanto, é totalmente dependente da irregularidade formal e posicional. Por exemplo, quando comparados desenhos manuais com desenhos produzidos através de ferramentas informáticas, este fenómeno é de fácil percepção. A inevitável irregularidade do desenho manual, mesmo quando forçado a aproximar-se da perfeição, é sempre mais expressivo.

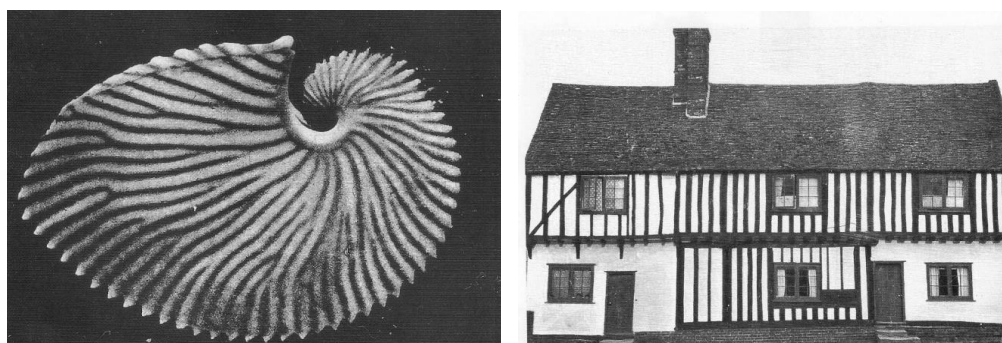


Fig. 36 – Rugosidade.

Exemplo de rugosidade na natureza _ Variação do tamanho do sulco numa concha do Nautilus (esq.).
Exemplo de rugosidade na arquitetura _ rugosidade nas colunas e no espaçamento entre as colunas (dir.).

12 – Ecos

Ecos é uma qualidade geométrica, que está relacionada com o carácter morfológico da forma. Este depende da existência de elementos formais muito similares, que se repetem uma e outra vez. É a constante repetição dessas semelhanças, que faz com que tudo numa composição pareça relacionado, que Alexander denomina de ecos (fig. 37).

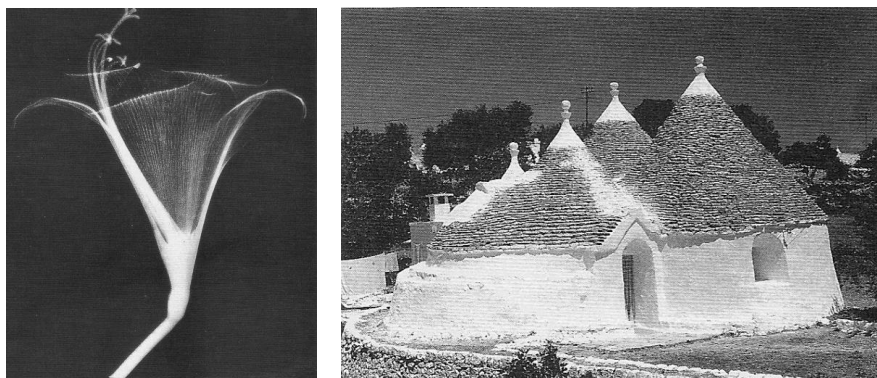


Fig. 37 – Ecos.

Exemplo de ecos na natureza _ Raio x de um Lírio mostrando ecos de uma mesma família de formas (esq.).
Exemplo de ecos na arquitetura _ Casas em Alberobello (dir.). A repetição de formas cónicas combinadas com formas arredondadas.

13 – O Vazio

Uma outra particularidade que o autor detetou nas estruturas vivas, foi o balanço entre o calmo e o distúrbio. Os espaços que compõem a forma, não podem ser todos eles “espalhafatosos”. Tem que haver uma zona calma que equilibre a dinâmica fervilhante da composição. Portanto, Alexander denominou como “o vazio”, o sítio da forma onde impera a calma e a tranquilidade (fig. 38).

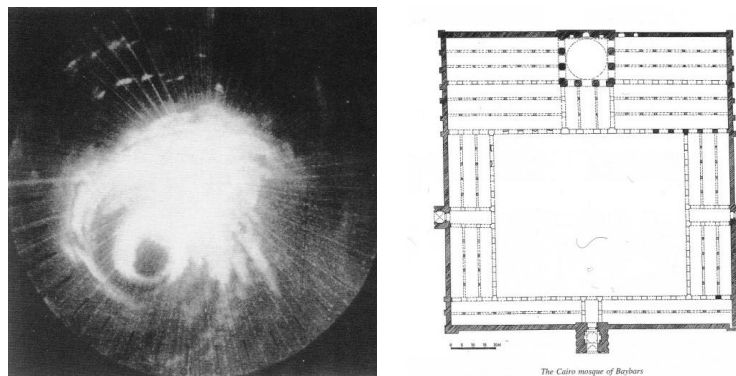


Fig. 38 – O vazio.

Exemplo de vazio na natureza _ O olho de uma tempestade (esq.). Num ciclone, a distribuição repartida das nuvens adensa-se ao aproximar-se do núcleo. Desta compactação, resulta a zona calma e tranquila da composição.

Exemplo de vazio na arquitetura _ Mosteiro de Baybars no Cairo (dir.). O distúrbio geométrico causado pela métrica das colunas, contrasta com a composição calma do pátio.

14 – Simplicidade e calma interior

A vida tem um modo de composição simples. As componentes geométricas que a compõem são simples e perfeitamente legíveis. Contudo, segundo Alexander, a qualidade simples da forma, só é atingida quando todas as componentes que lhe são desnecessárias à manutenção da unidade formal são retiradas. O que resta desse processo é uma estrutura que apenas contém os elementos estruturais necessários à sua existência. É este estado de simplicidade, que o autor denomina de calma interior (fig. 39).

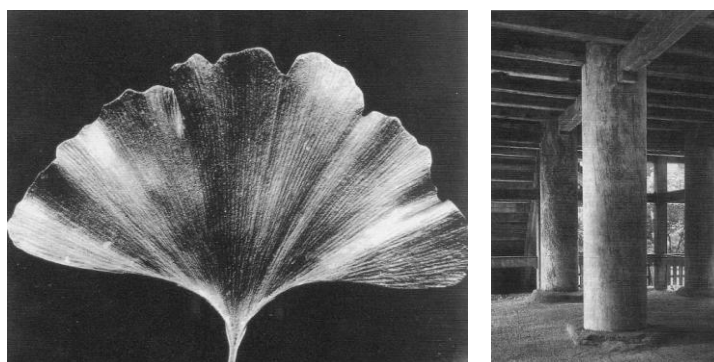


Fig. 39 – Simplicidade e calma interior.

Exemplo de simplicidade e calma interior na natureza _ Folha de Ginkgo Biloba (esq.). Todos os elementos desempenham uma função específica no equilíbrio da composição. A sua substituição compromete a configuração geométrica, o que revela ser uma composição num estado de calma interior.

Exemplo de simplicidade e calma interior na arquitetura _ Colunas de um templo japonês (dir.). Os elementos estruturais presentes na composição, são os mínimos necessários à sua estabilidade. Todos desempenham uma função específica no seu equilíbrio. A ausência de um deles teria implicações estruturais.

15 – Sem separação

Sem separação, está relacionado com a capacidade em experienciar uma estrutura como sendo parte do mundo que a envolve. Ou seja, de acordo com Alexander, uma estrutura viva tem que se fundir, ligar e ser indistinguível da envolvente. Isto tudo sem perder caráter nem personalidade. Portanto, têm que ser únicas e distintas, para serem identificáveis, no entanto, não se devem opor ou afirmar-se em relação às restantes. Se as estruturas forem coerentes por separação e não por ligação profunda, estas podem fundir-se umas nas outras e tornar-se inseparáveis (fig. 40).



Fig. 40 – Sem separação.

Exemplo de sem separação na natureza _ Margem de um lago (esq.). Todas as estruturas vivas existentes na margem do lago, apesar de distinguíveis, não se sobrepõem umas às outras. As estruturas coexistem em coerência.

Exemplo de sem separação na arquitetura _ Pagoda Wild Goose (dir.). É uma estrutura simples, harmoniosa, que se funde com a envolvente, sem perder o caráter e personalidade que a distingue na mesma.

Determinação do grau de vida nas estruturas humanas

O autor descreve de um modo claro e individual, cada qualidade geométrica das estruturas vivas que identificou, recorrendo a exemplos demonstrativos do padrão geométrico que as expõe. Contudo, apesar da legibilidade dessas características, a sua teoria não se revela de fácil compreensão. Tal dificuldade, em muito se deve à ausência de exemplificação das mesmas, numa só estrutura. Alexander afirma, que todas estas características estão presentes nas estruturas vivas. No entanto, não exemplifica a sua presença através de uma delas. Do mesmo modo, também não recorre à análise de uma estrutura humana, para tornar mais perceptível e compreensível, o que a ausência das mesmas influencia a qualidade do desenho arquitetónico. Para tornar mais clarividente o conceito defendido pelo autor, propõe-se a análise de quatro estruturas distintas. Uma delas é uma estrutura viva. A sua análise tem o intuito de comprovar a presença da totalidade das características identificadas. As restantes estruturas, são de caráter arquitetónico. A sua análise pretende estabelecer uma relação entre o tipo de

composição geométrica e os graus de vida das mesmas. As estruturas em análise são as seguintes:

- Nautilus (ver anexo 1.1)
- Auerworld Palace (ver anexo 1.2)
- Catedral de Brasília (ver anexo 1.3)
- Lar de idosos em Alcácer do Sal (ver anexo 1.4)

Das análises elaboradas obtiveram-se as seguintes conclusões: Confirmou-se mediante a análise ao Nautilus, que as características geométricas manifestam-se em simultâneo, numa estrutura viva. Quanto às estruturas humanas de caráter arquitetónico, os resultados foram muito distintos. O Auerworld Palace respondeu positivamente a doze das quinze características, a Catedral de Brasília a sete e o Lar de idosos de Alcácer do Sal a uma (fig. 41). Portanto, tomando como referência a teoria de graus de vida do autor, pode-se concluir, que o Auerworld Palace apresenta um grau de vida elevado, a Catedral de Brasília um grau de vida médio e o Lar de Idosos de Alcácer do Sal um grau de vida baixo. Isto significa, segundo o autor, que a qualidade arquitetónica do Auerworld Palace é superior face às outras duas.

Não é o objetivo desta análise, afirmar a boa ou a má qualidade destas obras. Este seria um assunto bastante discutível. Portanto, vale a pena referir de novo, que esta classificação contempla apenas uma linha de pensamento, que defende uma temática muito específica, como é a de Alexander.

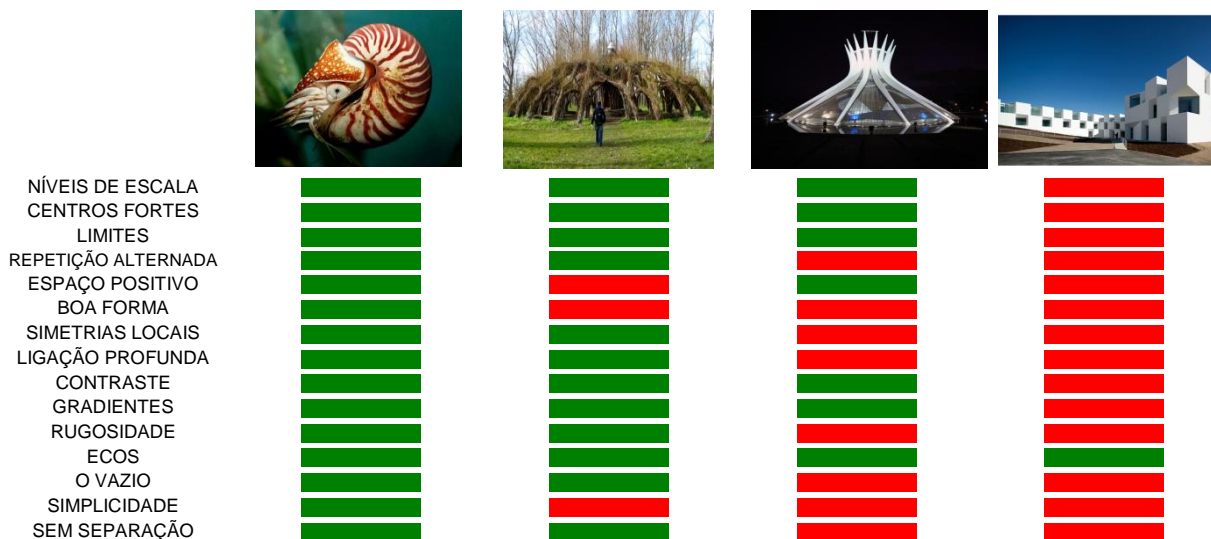


Fig. 41 . Graus de vida em estruturas humanas. Esquema comparativo.

Processo de desenho vs características geométricas

A teoria de Alexander, não se fica apenas pela classificação de graus de vida mediante um conjunto de características geométricas. Abordando também uma perspetiva ecológica, este

defende que a arquitetura, não se deve apenas preocupar em conseguir criar vida na parte “selvagem” da mesma. Deve também, preocupar-se em criar vida nos edifícios e nas cidades. Para tal, o processo de desenho teria que replicar, na sua totalidade, o processo de geração de uma estrutura viva. Tal descodificação é ainda hoje de todo impossível. Portanto, Alexander defende uma aproximação pela morfogenética, ou seja, pela interpretação da forma pela sua essência geométrica. A sua intenção, passa por gerar geometricamente, formas vivas. Para tal propõe gerar formas que revelem as quinze características geométricas por si definidas. No entanto, ao tentar fazê-lo, apercebe-se que a inexistência de uma estrutura humana com tais qualidades geométricas se deve a uma razão. As estruturas vivas obtêm essas qualidades, porque detêm um processo de geração que propicia a sua emergência. Portanto, essas qualidades são fruto de um particular processo de geração de forma, ou seja, o crescimento. Assim sendo, Alexander propõe uma mudança do processo de desenho arquitetónico humano, por um processo referenciado nas características geométricas dos mecanismos de crescimento. Esta sua proposta acaba por não ser exemplificada. O autor, apenas alerta para algumas exigências, em ter em conta nesse tipo de processo generativo. Este deve ser realizado calmamente, passo a passo e mediante um processo de sucessivas transformações, que nunca destruam a coesão estrutural da composição já obtida. Em suma, o seu objetivo é implementar este tipo de conhecimento na forma como se desenham os edifícios, de modo a respeitar o meio que nos rodeia com outro tipo de valores.

Paralelismos / referências ao conceito de Alexander

O autor engloba na sua teoria dois conceitos distintos. A associação da qualidade arquitetónica a características geométricas e a analogia dessas mesmas qualidades, a graus de vida. Ambos os conceitos não são totalmente novos. Nikos A. Salingaros (1997), já tinha introduzido a ideia de interpretar a qualidade arquitetónica por graus de vida, com fundamento matemático. Por outro lado, Rudolph Arnheim (1982, 1988) defendeu a ideia de associar a qualidade arquitetónica a características geométricas. Arnheim assume também, uma posição muito semelhante à de Alexander, quanto à qualidade da arquitetura do séc. XX. A diferença da teoria de ambos reside no objeto referencial. Arnheim põe como referência de boa arquitetura, a arquitetura antiga até ao renascimento, enquanto Alexander põe como referência, a qualidade compositiva das estruturas vivas.

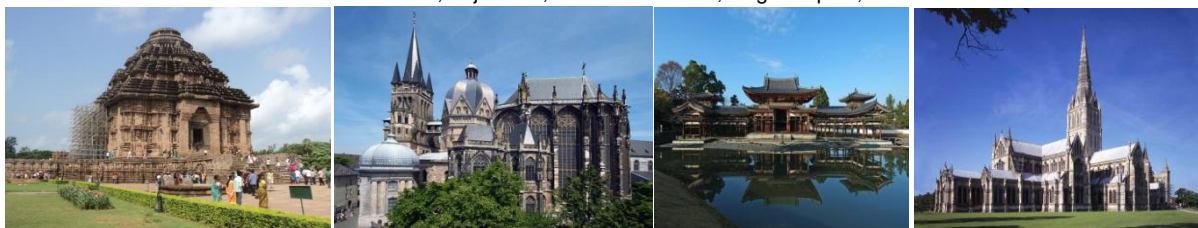
Inspirado na termodinâmica e em algumas ideias de Alexander, Salingaros propõe um modelo matemático simples para estimar determinadas qualidades intrínsecas de um edifício. Propõe que a dedução da quantidade de vida num edifício seja medida pela quantidade $L=T.H$. “T” refere-se à “temperatura do edifício” e engloba como incógnitas da sua definição, os graus de detalhe, a curvatura e cor das formas arquitetónicas. “H” refere-se à harmonia e define-se pelo grau de coerência e pela simetria interna. Para testar a sua teoria, Salingaros selecionou 24 edifícios de diferentes períodos civilizacionais, onde metade destes estão situados no período temporal entre o séc.VI e XIV, e a outra metade, num período mais contemporâneo de quase 200 anos (1808 a 1986). Este último período, corresponde a uma parte do intervalo espaço temporal que Alexander definiu como o de pior qualidade a nível arquitetónico. Os resultados obtidos por Salingaros, confirma a teoria de Alexander (fig. 42 e 43). Os edifícios notáveis realizados a partir da segunda metade do séc. XX, que denotam baixos níveis de quantidade de vida.

DEGREE OF LIFE IN TWENTY - FOUR FAMOUS BUILDINGS						
LISTED IN ORDER OF DECREASING L						
THE LIFE, L , IS DEFINED BY $L = T H$						
DATE	BUILDING	PLACE	ARCHITECT	T	H	L
14th c.	ALHAMBRA	Granada	unknown	10	9	90
17th c.	TAJ MAHAL	Agra	unknown	10	9	90
7th c.	DOME OF THE ROCK	Jerusalem	unknown	9	9	81
6th c.	HAGIA SOPHIA	Istanbul	Isidoros, geometer	10	8	80
13th c.	KONORAK TEMPLE	Orissa	unknown	8	8	64
9th c.	PALATINE CHAPEL	Aachen	Odo of Metz, builder	7	9	63
11th c.	PHOENIX HALL	Kyoto	unknown	7	9	63
13th c.	CATHEDRAL	Salisbury	unknown	7	9	63
c. 1700	GRANDE PLACE	Brussels	unknown	9	7	63
16/17th c.	ST. PETER'S	Rome	Bernini	10	6	60
5th c. BC	PARTHENON	Athens	Iktinos, builder	7	8	56
11/14th c.	BAPTISTERY	Pisa	Salvi, builder	7	8	56
1898	MAISON HORTA	Brussels	Horta	8	7	56
1906	CASA BATLO	Barcelona	Gaudi	8	5	40
1954	WATTS TOWERS	Watts	Rodia	10	4	40
1974	MEDICAL FACULTY HOUSING	Brussels	Kroll	7	4	28
1977	POMPIDOU CENTRE	Paris	Piano	6	4	24
1986	BANK	Hong Kong	Foster	3	7	21
1936	FALLING WATER	Bear Run	Wright	4	5	20
1973	OPERA HOUSE	Sydney	Utzon	4	5	20
1958	SEAGRAM BUILDING	New York	Mies van der Rohe	1	8	8
1961	TWA TERMINAL	New York	Saarinen	3	2	6
1965	SALK INSTITUTE	La Jolla	Kahn	1	6	6
1955	CHAPEL	Ronchamp	Le Corbusier	1	2	2

Fig. 42 – Exemplo da aplicação do modelo matemático em edifícios marcantes da história da arquitetura e sua ordenação por graus de vida.



Alhambra; Taj Mahal; Dome of the rock; Hagia Sophia;



Konorak temple; Palantine Chapel; Phoenix Hall, Cathedral Salisbury;



Grande Palace, St. Peter's, Patheron; Baptistery Pisa;



Maison Horta; Casa Batlo; Watts Towers; Medical Faculty Housing;



Pompidou Center; Bank Hong Kong; Falling Water; Opera House;



Seagram Building; TWA Terminal; Sack institute; Ronchamp Chapel.

Fig. 43 – Exemplificação morfológica dos edifícios referenciados por Salingeros segundo a ordenação de graus de vida da fig X.

_ Rudolph Arnheim - Qualidade arquitetônica

Embora Rudolph Arnheim, não tenha desenvolvido um trabalho ligado à vertente da ciência ecológica é importante referenciá-lo na sequência e na continuidade da interpretação da qualidade arquitetônica elaborada por Alexander. Arnheim detém uma opinião sobre a qualidade

da arquitetura atual, muito semelhante à de Alexander. Este afirma que os edifícios visualmente bem sucedidos, são cada vez mais raros do que foram em qualquer outro período da civilização. Portanto, a sua teoria baseia-se na procura de valores perceptivos que justifiquem este tipo de observação.

O autor, não define propriamente um conjunto de características a incluir num processo de desenho, tal como o faz Alexander. Ele destaca diversas situações de organização espacial, mas não as identifica propriamente como características geométricas. Por esta razão, os conceitos aqui expostos, focaram-se nos pontos de análise de particularidades geométricas da forma arquitetónica, com o intuito de demonstrar o quão complementares estas são às características de Alexander.

1 - Centro dinâmico (analogia com o centro forte de Alexander)

A percepção de um objeto é mais forte e intensa quando este emana forças de atração. Essa poder de atração quando existe, tem que obviamente possuir uma fonte para a qual confine, ou seja, um centro. O poder perceptivo do centro é fazer-se encaminhar até si. Portanto requer uma organização de encaminhamento hierárquico, que torna claro o início e o fim da forma. Segundo Arnheim, os objetos arquitetónicos que detêm esta particularidade atrativa, presenciam um forte estado de equilíbrio e dinamismo. Convidam-se a percorrer até atingirem uma zona de pausa. Toda a composição reflete um objetivo comum, tornando os elementos que a compõem insubstituíveis e inalteráveis (fig. 44).



Fig. 44 – Centro dinâmico.

Exemplo sem centro dinâmico _ Bloco de apartamentos em Islington (esq.). A composição não desponta atração. A forma não se convida a percorrer. Tudo é estático e igual.

Exemplo com centro dinâmico _ O santuário da verdade (dir.). Os elementos estruturais encaminham a composição para uma zona em pausa _ o centro.

2 - Interação de espaços (analogia com o espaço positivo de Alexander)

A legibilidade da forma também tem influência na qualidade arquitetônica. Para haver uma clara leitura de uma estrutura arquitetônica, Arnheim sugere que as formas que a constituem, têm que assumir o seu papel de formas. Ou seja, segundo a sua interpretação, uma forma tem que ser independente e delimitável. Para tal, necessita de um fundo contrastante que a evidencie (fig. 45). Se uma forma for contornada por outra que a contenha, a sua qualidade perde-se, pois entra em rivalidade com a que a envolve (fig. 46). Portanto, para que a coexistência de formas evite rivalidade entre as mesmas, estas devem partilhar os seus limites por sobreposição.

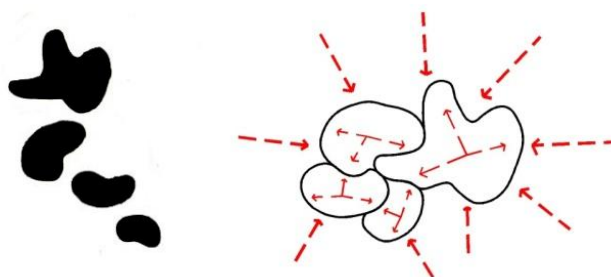


Fig. 45 – Exemplo de composições geométricas com formas clarívidas, ou por separação (esq.) ou por sobreposição dos seus limites (dir.). As formas são legíveis e perfeitamente contornáveis, o que esclarece a sua leitura.

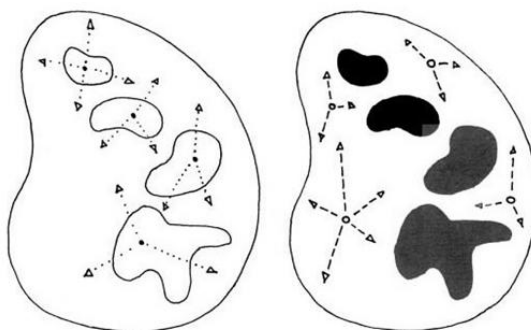


Fig. 46 – Exemplo de formas em rivalidade.

A delimitação de elementos geométricos dentro de outro mais abrangente cria resistência interpretativa do que será a forma. Os elementos internos, rivalizam com o elemento externo pelo destaque na composição, sem se perceber qual dos elementos é realmente a forma.

3 - Constrangimentos da ordem (analogia com as simetrias locais de Alexander)

A ordem é imprescindível em qualquer tipo de organização. Esta ocorre tanto em sistemas orgânicos como inorgânicos. Contudo, a ordem nestes sistemas não é homogenia. Esta não produz sempre o mesmo tipo de estruturas. Muito pelo contrário. Detêm uma vasta diversidade. Portanto, a ordem é consistente pela variabilidade e não pela homogeneidade (fig. 47). Arnheim situa a arquitetura atual, mais concretamente o caso das unidades habitacionais

idênticas, como um caso de ordem homogênea. Considera-as o mais baixo nível de ordem, uma ordem sem vida. Percepcionando que nada na envolvente ambiental se rege pela homogeneidade, mas sim pela imperfeição, o autor propõe três tipos de variações na ordem inerente ao processo de desenho arquitetônico. As variações que propôs foram as seguintes:

- A simetria e outras espécies de regularidade são contra indicadas, quando tudo na envolvente se regula pela irregularidade.
- Os elementos estruturais devem ser independentes. Devem conter as suas próprias regras e espaço. Contudo, devem ser simultaneamente separadas dos elementos que lhes são adjacentes.
- Os padrões geométricos devem coexistir numa mesma composição, pela semelhança e não pela exatidão.

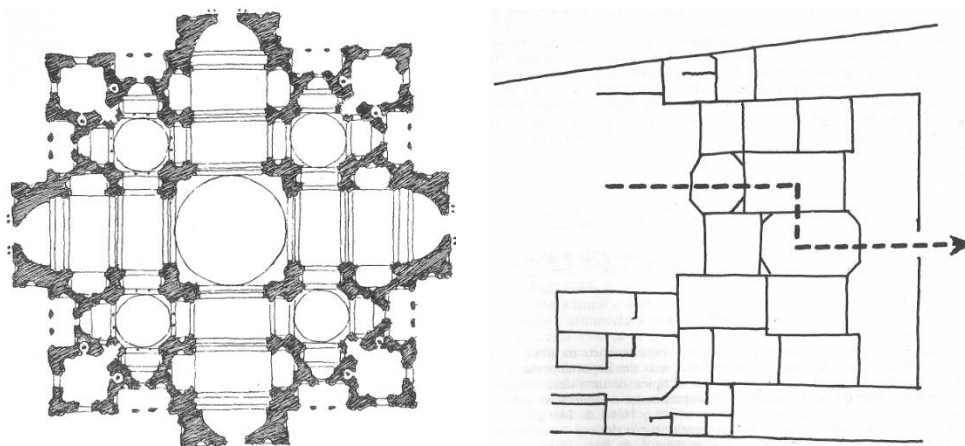


Fig. 47 – Constrangimentos da ordem.

Exemplo sem constrangimentos da ordem _ Plano de Bramante para a Basílica de São Pedro (esq.).

O plano apresenta uma simetria muito precisa. Os padrões geométricos existentes repetem-se pela exatidão e os elementos geométricos não contêm as suas próprias regras e espaço, pois são resultado de um conjunto de intersecções de outras formas

Exemplo com constrangimentos da ordem _ Hotel de Matignon (dir.). O plano do hotel revela a presença de uma simetria irregular, onde os elementos que a constituem são totalmente distintos, mas de caráter morfológico idêntico. A composição indicia sinais de fluidez e não de constrangimento.

4 - Aberto / Fechado (*analogia com a ambiguidade e ligação profunda de Alexander*)

A capacidade de integração de um edifício na envolvente depende muito da dinâmica existente entre ambas. A dinâmica requer uma participação mútua. Para tal, os edifícios não devem ser separados por uma fronteira rígida que não se deixe ultrapassar. Arnheim demonstra com alguns exemplos (fig. 48), que a mera perfuração cria laços de união entre construído e envolvente. Esta ameniza a solidez do edificado e a fronteira entre os mesmos. Portanto, o ato de mútua invasão reforça a ligação entre duas existências distintas.

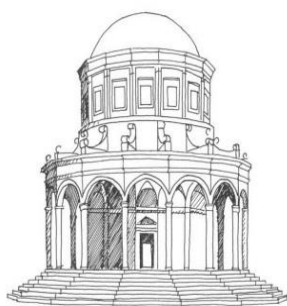


Fig. 48 – Aberto / fechado.

Templo representado na pintura de Rafael “Casamento da virgem”, Palácio Chiericati (centro),
Biblioteca da Universidade de San Diego (esq.)

As aberturas geradas entre as colunas, permite a existência de uma zona de interação entre
envolvente e edificado. Ou seja, uma zona de fusão que ajuda a amenizar a fronteira entre
ambas e que permite uma transição mais suave entre estruturas distintas.

5 - Concavidade e convexidade (analogia com a sem separação de Alexander)

Arnheim confere a este tipo de formas, qualidades de agregação espacial e fluidez. Estas convidam-se a ser percorridas e não se impõem como uma barreira incontornável. Contudo, apesar da sua grande fluidez, estas têm a particularidade de constranger fortemente o espaço que delimitam (fig. 49). Esta dualidade advém da força de atração que detêm. Estas formas não se impõem no espaço por invasão, mas sim por participação. Elas detêm a capacidade de atrair a envolvente a si, por meio de campos de força. Esta atração advém da sua organização. As formas são referenciadas num ponto externo ao seu perímetro, o que gera uma natural tensão entre ambos. Esta tensão gera um efeito de compressão no espaço situado entre ambos, o que lhe confere uma forte vinculação à forma (fig. 50). A tensão também confere a esta uma qualidade mutável, dando-lhe liberdade expansiva (fig. 51)

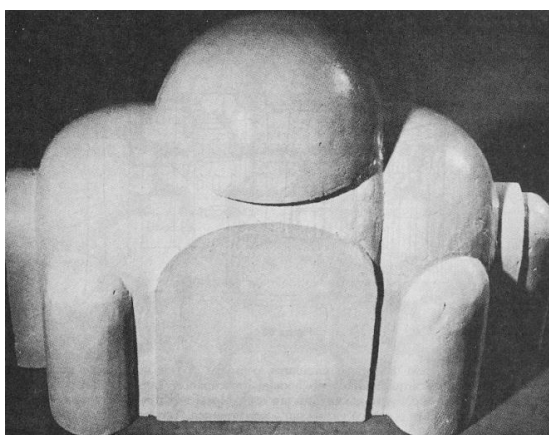


Fig. 49 – Molde de gesso representativo do espaço interior da Basílica de Santa Sofia.
A disposição por gradientes da forma concava, direciona o campo visual para o interior do molde.
Simultaneamente, permite que o olhar contorne a forma, de um modo fluido e espontâneo.



Fig. 50 – Linearidade vs convexidade / concavidade.

Numa superfície concava ou convexa, o observador é atraído para a forma e esta exalta a sua presença (dir.). Já numa superfície reta, a força de atração é inexistente. Ela detém uma capacidade de corte, pois não chama o espaço envolvente a si.

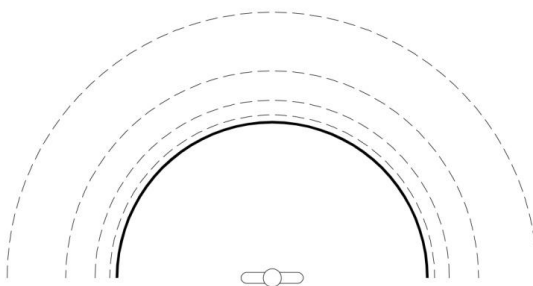


Fig. 51 - Campo de forças.

As formas concavas e convexas, emanam flexibilidade de expansão. A forma pode acompanhar a orientação do campo de forças, sem que esta perca a sua configuração e qualidades.

6 - Ruído (analogia com a rugosidade de Alexander)

Arnheim faz destaque a uma qualidade geométrica que no seu ponto de vista enriquece a arquitetura, mas que ao contrário de todas as outras, não emerge nesta como um ato intencional do homem. Essa qualidade designou-a por ruído. Arnheim associa o ruído à quebra de perfeição, opção essa que o homem não visa no seu processo de desenho. A arquitetura segue quase sempre um padrão de perfeição geométrica e simetria, onde se valoriza a igualdade dos elementos. Essa quebra de rigor, só emerge na arquitetura, segundo o autor, por ação de desgaste (fig. 52). A arquitetura tem modos de exprimir tensão, interferência, distorção, desequilíbrio e outros tipos de modificações. Contudo, a qualidade do ruído presente nas imperfeições orgânicas e inorgânicas não se manifesta nela, a não ser pela não interferência do homem ao longo do tempo. O autor ressalva ainda, que a beleza desta qualidade há muito que é valorizada e que já foi alvo de tentativas de reprodução. No entanto, nunca obteve um mesmo grau de qualidade, isto porque, segundo a sua opinião, a reprodução de uma qualidade não é possível de concretizar, sem o processo que lhe está adjacente.



Fig. 52 – Ruído.

Pirâmide de Gize (esq.) e Coliseu de Roma (dir.).

A quebra de regularidade dos elementos arquitetônicos pelo desgaste resultante do efeito de erosão e da utilização humana.

7 - Formas completas (analogia com os gradientes de Alexander)

Um outro fator importante a aferir na avaliação da qualidade arquitetónica segundo Arnheim, é a sensação de forma completa. Independentemente da complexidade da forma, a legibilidade e compreensão da mesma é maior quando a forma transmite a sensação de estar separada da envolvente e não fixa à mesma. Ou seja, quando o seu contorno não sugere dúvidas de continuidade.

Arnheim considera que a forma de um edifício está completa, quando este assenta sobre o chão. Por um lado, associa a qualidade incompleta a um edifício, quando este transmite a sensação de perfurar o chão. Um edifício assente no chão detém uma particularidade geométrica, gradientes. As formas são organizadas mediante uma hierarquia de subdivisões de unidades mais pequenas, que evitam uma organização estrutural mediante uma mesma linearidade. A forma demonstra uma configuração geométrica fragmentada, contrastando assim, com a envolvente, com uma maior variedade de “acidentes” geométricos. Se esta variedade for ínfima, por os elementos estruturais seguirem todos uma mesma linearidade, a forma aparenta estender-se para além do solo. Isto confere-lhe uma sensação de ser mais uma parte de uma forma, que uma forma em si (fig. 53).

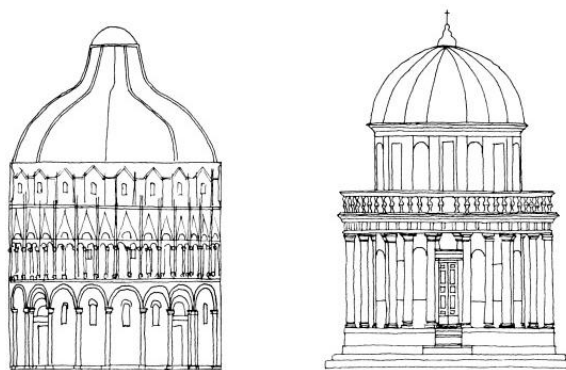


Fig. 53 – Formas completas.

Exemplo de forma incompleta (perfurando o chão) _ Batistério de Pisa (esq.). Os vários níveis do edificado partilham da mesma linearidade estrutural. A ausência de “acidentes” geométrico como que a projeta para além do solo.

Exemplo de forma completa (assente no chão) _ Tempietto de Bramante (dir.). A fragmentação sucessiva de elementos por decréscimo de tamanho, retira-lhes uma organização estrutural por linearidade partilhada. Esta quebra de linearidade solta automaticamente a forma do solo.

8 - Simplicidade (analogia com a simplicidade e calma interior de Alexander)

Para explicar o conceito de simplicidade de composição estrutural existente em alguns exemplos arquitetônicos, o autor recorre à sua descrição mediante a utilização de duas abordagens distintas, a simplicidade objetiva e a simplicidade relativa. A razão para estas duas abordagens é simples. É difícil de fazer entender, que a composição geométrica de um edifício antigo, seja idealizado numa base de simplicidade, quando esta se apresenta cheia de elementos e adornos. Por senso comum, a simplicidade é interpretada como um qualidade onde não impera a irregularidade nem a perturbação. Tudo é facilmente perceptível e não sugere nenhum tipo de dúvidas. A esta simplicidade, Arnheim denomina de objetiva e é caracterizada pela repetição de ângulos e distâncias (fig. 54). Contudo, os edifícios não são constituídos por um só elemento. As suas estruturas revelam uma combinação de elementos simples. No entanto, esta particularidade não confere diretamente à composição geométrica que as alberga, uma conotação de simplicidade. Isto porque, se está perante um sistema onde a simplicidade tem que ser avaliada em termos de parcimónia e ordenação. É preciso perceber que estrutura pode ser mais simples para um determinado objetivo e qual o modo mais simples de a organizar. É esta simplicidade, que Arnheim conota de simplicidade relativa (fig. 55). Em termos geométricos, esta simplicidade é atingida quando os elementos denotam uma dependência tão forte entre si, que são insubstituíveis por outros. Ou seja, a simplicidade deve ser abordada, não pelo menor número de elementos ou ângulos, mas pela necessidade organizativa da composição em os ter, sem que sejam considerados desnecessário para sua coesão estrutural.

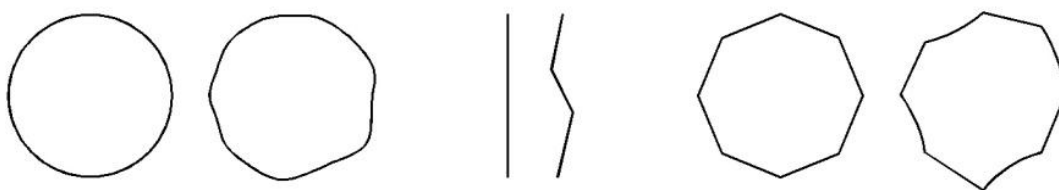


Fig. 54 – Exemplo de simplicidade objetiva.

Por senso comum, é fácil de perceber que nestes três grupos de elementos, a forma à esquerda é a mais simples. Esta dedução advém da facilidade de leitura da forma. É mais fácil ler uma forma regular, onde impera a repetição do mesmos ângulos e distância, que uma forma irregular, onde essas variáveis estão em constante variação.

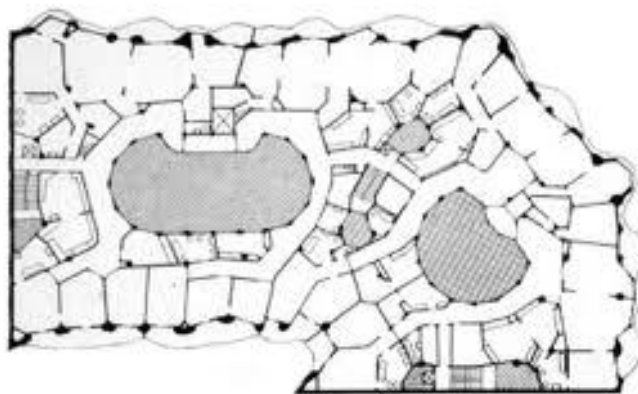


Fig. 55 - Exemplo de simplicidade relativa _ Casa Batlló (Gaudí)

A simplicidade é obtida mediante a irregularidade dos seus elementos. A irregularidade confere a cada espaço, uma contenção espacial insubstituível por qualquer uma das outras.

Todos os espaços trabalham em conjunto para a coesão estrutural da forma. Nenhum elemento aparenta existir em excesso na composição, revelando assim, o seu estado de simplicidade.

9 - Campos intermédios (*analogia com a sem separação de Alexander*)

Os campos intermédios existentes entre edifícios, não devem ser lidos como vazios, mas sim, como extensão dos mesmos. Estes devem emanar forças de atração que os ligue mesmo por separação. E essa ligação só pode ser estabelecida, se a forma dos edifícios e a forma do vazio que os separa, for coerente com as formas da envolvente. Segundo Arnheim, este tipo de união por atração, ganha mais força, quando mais dinâmicas e sinuosas forem as formas. A sinuosidade gera distintas zonas de fusão entre forma e vazio, tornando o seu campo de contacto mais rico e diversificado. A sinuosidade atrai os elementos, a linearidade pura, acaba por cortá-los e separá-los (fig. 56).



Fig. 56 – Campos intermédios.

Exemplo de edifício com campos intermédios _ Templo de Keshava (esq.). O perfil sinuoso dos elementos arquitetónicos fundem-se com o espaço intermédio sinuoso delimitado por estes. Apesar de materialmente distintos, o vazio e os elementos arquitetónicos aparentam estar ligados em continuidade.

Exemplo de edifícios sem campos intermédios _ Edifícios habitacionais na China (dir.). A ausência de dinamismo dos elementos arquitetónicos criam forças repulsivas entre os mesmos e entre o vazio que os separa. Os campos intermédios e os edifícios apresentam-se bem individualizados.

– *Pertinência das abordagens*

Apesar do referencial de Arnheim ser mais plausível no campo da conceção arquitetónica, a sua investigação acaba por complementar a perspetiva mais inovadora de interpretar as razões da qualidade arquitetónica por parte de Alexander. Não existe nenhuma característica denominada por Arnheim, que não esteja englobada no leque de características apresentado por Alexander (fig. 57). Só esta particularidade demonstra a grande sintonia que ambas as abordagens detêm. Tal facto, talvez possa mesmo demonstrar a influência das estruturas vivas na arquitetura, não só em termos proporcionais e decorativos, mas também nas soluções geométricas de conceção geral dos edifícios. Contudo, essa problemática não é aprofundada por nenhum dos autores.

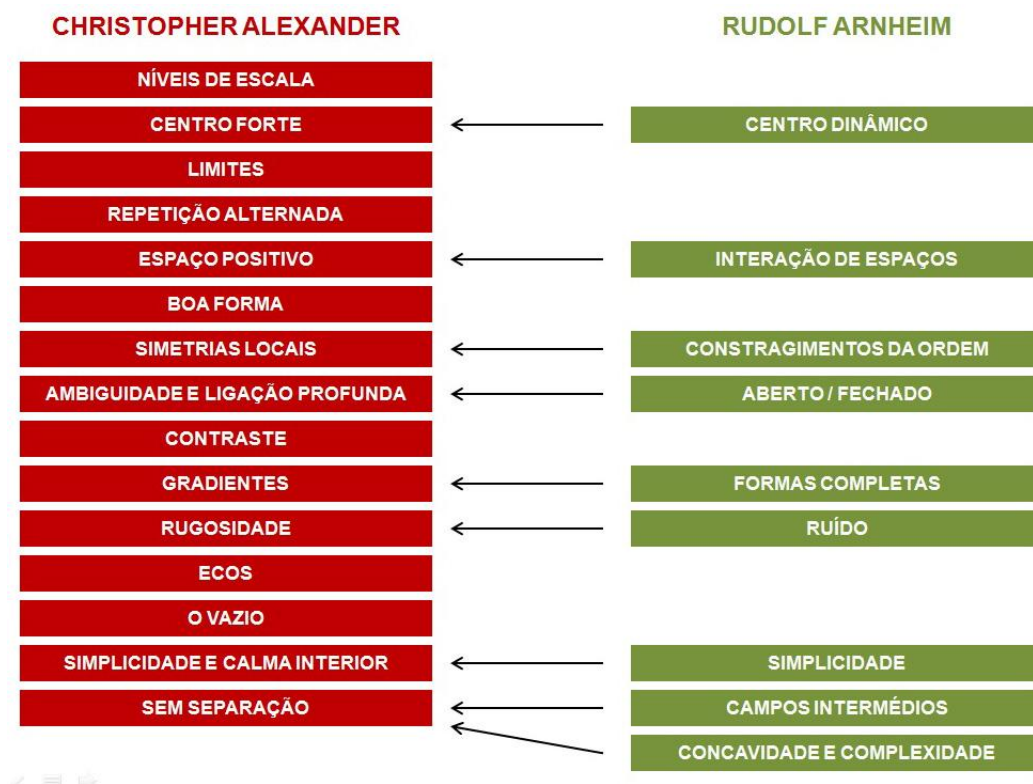


Fig. 57 – Christopher Alexander / Rudolph Arnheim.
Características geométricas de Christopher Alexander – Avaliação da qualidade arquitetónica por analogia às estruturas vivas. Características geométricas de Rudolph Arnheim – Avaliação da qualidade arquitetónica por analogia a estruturas arquitetónicas de outras eras civilizacionais.

2.3.1.2 D'Arcy Thompson (on growth and form)

D'arcy Thompson incide o seu estudo na interpretação geométrica e matemática das transformações que os organismos sofrem enquanto crescem e evoluem. O principal contributo a

retirar da obra de Thompson (1992) é a relação entre proporção, semelhança e transformação. As estruturas vivas resultam de um processo de sucessivas transformações não constantes e não uniformes, mas com uma mudança de proporções que não põem em causa a coesão estrutural. Portanto, quaisquer que sejam as transformações, as estruturas vivas têm que manter um determinado padrão de proporção na forma que não ponha em causa toda a coesão estrutural obtida nas transformações anteriores. E para que essas transformações mantenham a coesão estrutural, as formas têm que crescer ou evoluir pela semelhança à que existia na fase anterior a cada transformação.

Para demonstrar esses conceitos, D'arcy Thompson recorreu à demonstração de um conjunto de características geométricas. São estas: a magnitude, onde aborda a ordem de grandeza dos elementos estruturais e a proporção entre as partes do todo; as formas estruturais, onde descreve as qualidades geométricas das formas com que o fenómeno da vida se constrói, e as transformações, onde aborda a relação proporcional na geração de diferentes espécies da mesma família, numa perspectiva evolucionária.

1- Magnitude

O fenómeno da vida apresenta dimensões predefinidas para os seus materiais. Independentemente do tamanho da estrutura, os “tijolos” utilizados na conceção das composições físicas mantêm-se. Thompson demonstra este facto, comparando a dimensão de células da medula espinhal cervical de distintos animais. Apesar das células revelarem diferentes dimensões, a sua ordem de grandeza não revela uma grande disparidade proporcional, comparativamente à ordem de grandeza dos animais em questão (fig. 58). A proporção de tamanho entre um rato e um elefante, é muito superior que a relação proporcional entre as respetivas células dos seus sistemas nervosos. O que varia mediante a dimensão dos animais é o número de células utilizadas e não a dimensão das mesmas.

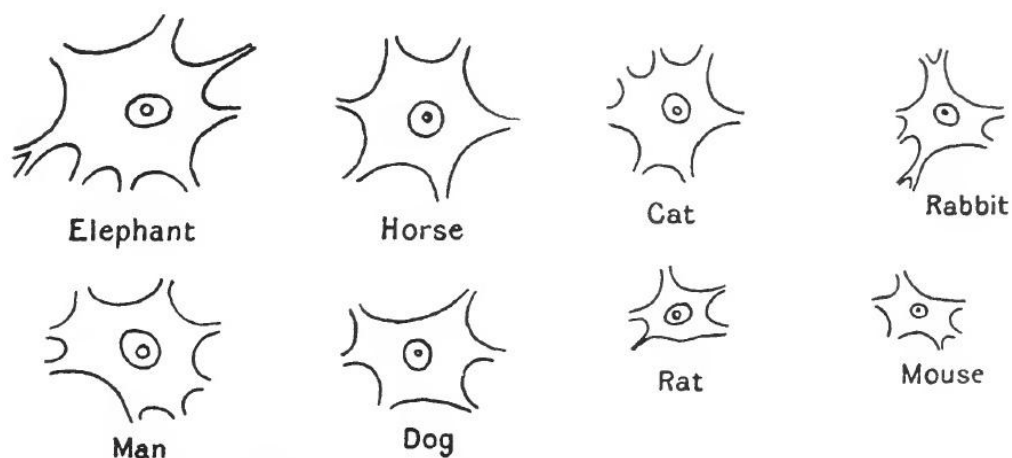


Fig. 58 – Células ganglionares da medula espinhal cervical de diferentes animais. A variação proporcional das células, não tem relação direta com a dimensão das estruturas vivas. A ordem de grandeza das células é quase a mesma, sendo o maior salto proporcional presente de 1/2 (rato / elefante).

A pequena variabilidade das ordens de grandeza, não é uma condicionante exclusiva dos elementos estruturais que compõem as estruturas vivas. Este tipo de particularidade também pode ser observado, segundo Thompson, nos diversos estados de crescimento das mesmas. O crescimento requer um estado de constantes transformações, que influencia tanto a dimensão das partes que o constitui, como também do seu todo. Contudo, cada transformação não desponta qualquer tipo de interferência na coesão estrutural, pelo contrário. O processo de crescimento mantém as relações proporcionais entre as partes das estruturas estáveis. O autor demonstra esta estabilidade mediante a comprovação da pequena variação do rácio existente entre as partes do corpo humano ao longo do processo de crescimento (fig. 59).

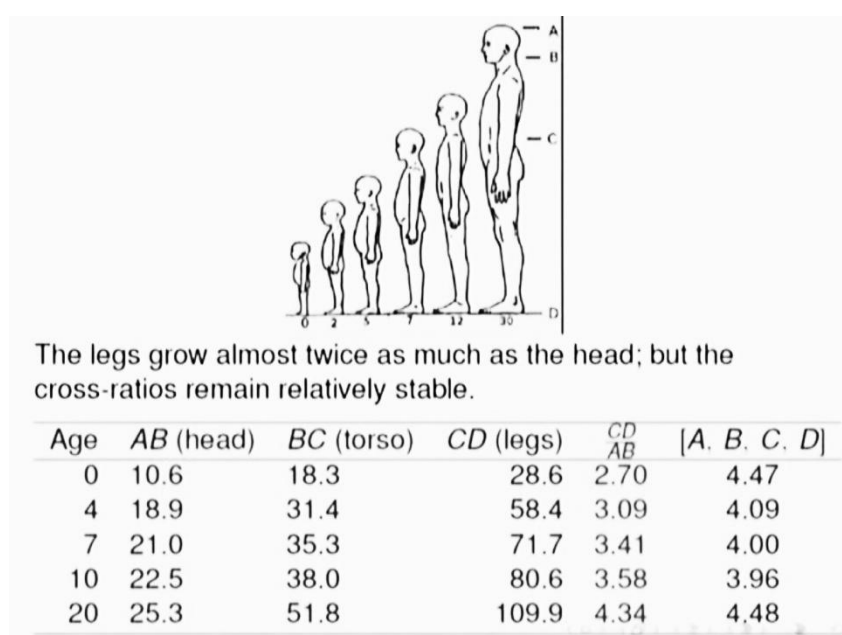


Fig. 59 – Rácios de proporção entre elementos do corpo humano durante o processo de crescimento. Durante as transformações estruturais associadas ao processo de crescimento, os rácios existentes entre as partes do corpo humano mantêm-se, mesmo quando algumas partes deste, como é o caso das pernas, que crescem praticamente o dobro da cabeça.

2 - Forma dos elementos estruturais _ células.

Thompson não especifica propriamente uma forma geométrica para os elementos estruturais que compõem as estruturas vivas, mas define as suas características. São formas equilibradas e simétricas, com predominância para o elemento curvo (fig. 60). Contudo, apesar de não especificar as mesmas, destaca a predominância de uma padrão estrutural seguido por estas formas estruturais, a simetria hexagonal (fig. 61). Parece um contrassenso, não especificar formas geométricas, mas afirmar que estas se desenvolvem mediante padrões hexagonais. A razão de tal facto, deve-se ao efeito de deformação das forças naturais a que os elementos estruturais estão sujeitos. Em muitos casos, a deformação é de tal ordem, que o padrão hexagonal torna-se impercetível, podendo mesmo elucidar a existência de outras figuras geométricas de família poligonal ou curvilínea.

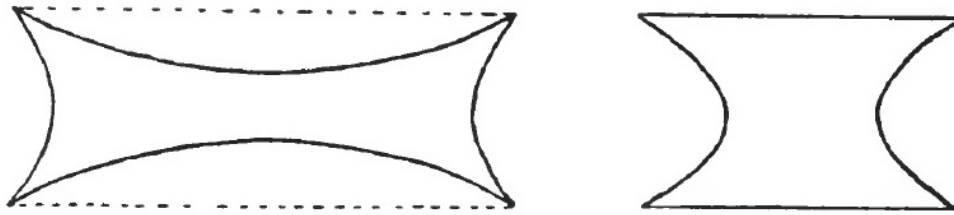


Fig. 60 – Padrão morfológico dos elementos estruturais.
A forma curva oferece maior resistência por capacidade de deformação às forças externas.

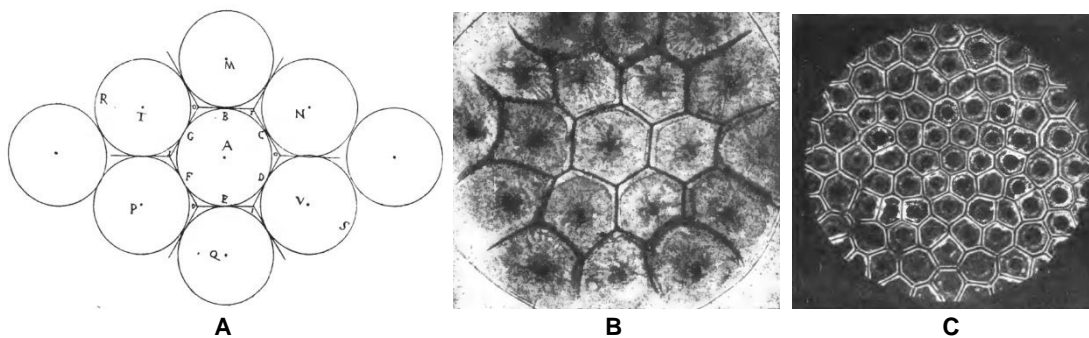


Fig.61 – Simetria hexagonal.

As composições geométricas das estruturas vivas, refletem um padrão estrutural mediante a predominância de simetria hexagonal.

- (A) – esquema exemplificativo do padrão por simetria hexagonal, com recurso a elementos circulares. Um conjunto círculos ao sofrer forças de deformação, tem a tendência para gerar formas de estrutura hexagonal. Diagramas com células hexagonais.
- (B) Tecido artificial formado por gotas de cor de uma solução de difusão de cloreto de sódio.
- (C) Tecido celular artificial, formado por difusão em gelatina de gotas de uma solução de ferrocianeto de potássio.

Uma outra particularidade dos elementos que compõem estas estruturas, é o modo se ligam entre si. A agregação destes elementos é feito em continuidade. Não existe qualquer tipo de desperdício espacial entre os elementos estruturais. Toda ela é uma massa contínua. Isto sugere, que a agregação dos elementos resulta de um processo de conjugação por sobreposição de limites. Os elementos são de tal modo compactados entre si, que a individualidade geométrica de cada um deles, detém dependência geométrica com os elementos que o envolvem (fig. 62 e 63).

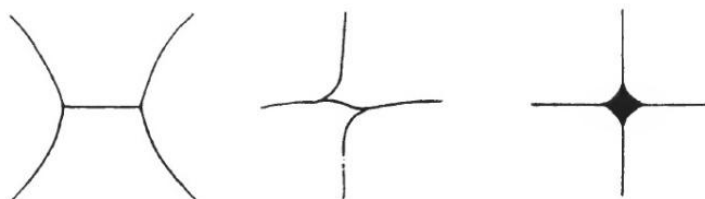


Fig. 62 – Alguns exemplos tipo de agregação de quatro células.
Agregação em continuidade por sobreposição de limites.

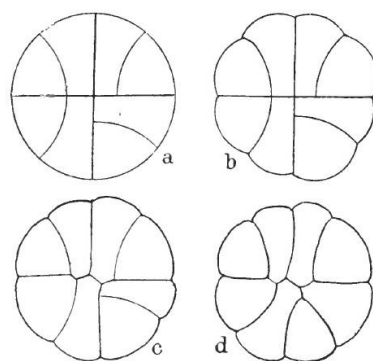


Fig. 63 - Partição do espaço.
Demonstração da importância da superfície curva, para fortalecer
o poder de agregação entre os elementos estruturais.

A agregação de elementos em continuidade, também não pode ser feita de um modo aleatório. Estas têm que seguir uma ordem cognitiva que estabeleça uma expansão organizada da composição estrutural. Essas ordens de organização expansiva, também se refletem sobre uma forma. Para o processo de crescimento, Thompson já categoriza um conjunto de formas: formas em equilíbrio por revolução (espiral) e formas em equilíbrio por onda (anéis de crescimento) (fig. 64). Estas partilham das mesmas qualidades geométricas que as formas estruturais definidas pelo autor. São equilibradas, simétricas e de padrão curvilíneo.

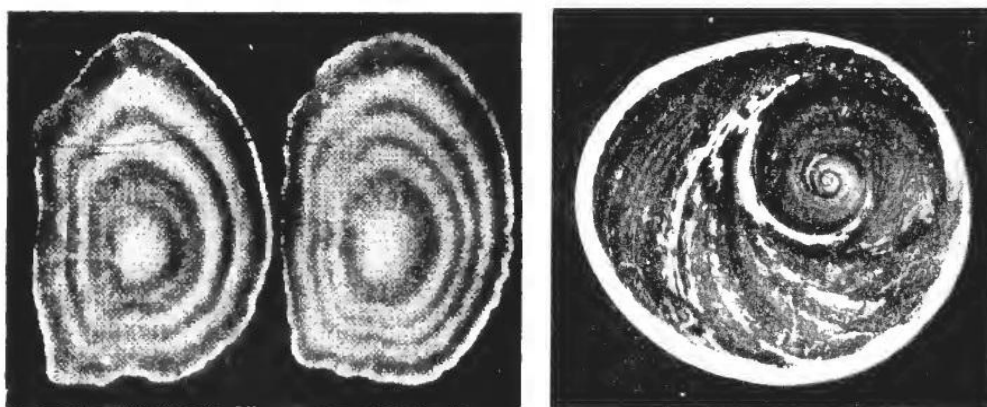


Fig. 64 – Tipos de forma em equilíbrio.
Exemplo de forma em equilíbrio por onda _ Otoliths of plaice, demonstrando quatro anéis de crescimento". (esq).
Exemplo de forma em equilíbrio por revolução (espiral) _ Operculum of Turbo (dir.).

3 - Teoria das transformações

Thompson, através do estudo que realizou ao processo de crescimento mediante rácios de proporção, demonstrou que este processo, caracteriza-se por um conjunto de múltiplas e sucessivas transformações que não destroem a coesão estrutural das suas composições.

Contudo, também revela que esta qualidade não opera somente no processo de crescimento. Ela também existe no processo evolutivo das espécies. A comprovação deste facto passou pela tentativa de demonstrar, mediante a aplicação de um processo de distorção geométrica, como seria possível obter a configuração de espécies relacionadas a partir da configuração geométrica de uma delas. Para tal o autor, definiu uma grelha cartesiana sobre um perfil geométrico de uma espécie, sobre a qual aplicou efeitos de distorção. O resultado destas distorções, foi a transformação do perfil geométrico noutros distintos do inicial, mas de grande semelhança a outras espécies da mesma família da inicial (fig. 65 e 66). Este processo de transformação por distorção de grelhas demonstrou que o processo evolutivo entre espécies relacionadas resulta também de pequenos saltos de variação proporcional. Os elementos que compõem as grelhas, não precisaram de grandes variações proporcionais para gerar perfis geométricos distintos. Portanto, a pequena variabilidade das proporções, é suficiente para gerar um vasto leque de diversidade formal, sem qualquer tipo de influência na coesão estrutural.

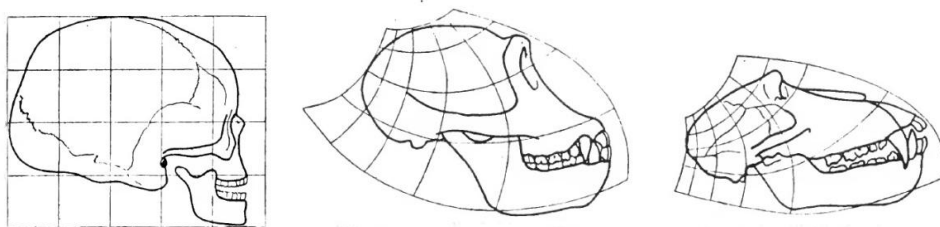
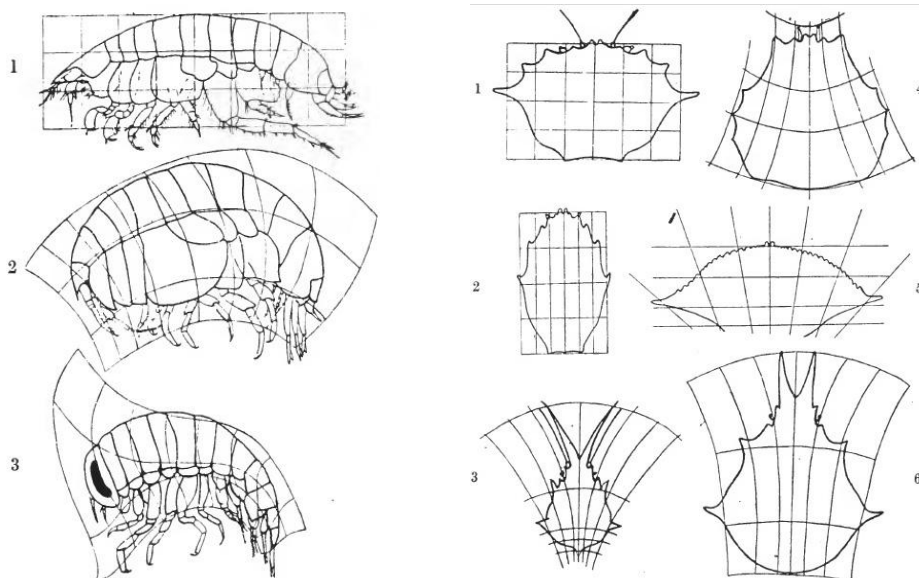


Fig. 65 – Aplicação da teoria das transformações a partir do crânio humano (esq.). O tipo de distorções impostas à grelha, permitem transformar o cérebro humano, num crânio de chimpazé (centro) e num crânio de babuíno (dir.).



1 – harpinia plumosa; 2 – Stegocephalus inflatus; 3 – Hyperia galba. (esq).
Capapaças de diversos crustáceos: 1 – Geryon; 2 – Corystes; 3 – Seyramathia; 4 – Paralomis; 5 – Lupa; 6 – Chorinus.

Fig. 66 - Comparação entre diferentes formas de crustáceos a partir da teoria de transformações de Thompson.

2.3.2 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS _ ABORDAGEM PELA IDENTIDADE

2.3.2.1 Maggie Macnab (Design by nature)

No caso da identificação de características geométricas associadas à identidade geométrica das estruturas vivas, destaca-se o trabalho de Maggie Macnab. Como designer gráfica, Macnab reparou que certos tipos de padrões de representação gráfica utilizados pelos designers, não eram facilmente interpretados pelas pessoas. Esta dificuldade de decodificação devia-se sobretudo ao desconhecimento do vocabulário geométrico empregue. Face a este problema, a sua ideia passou por elaborar uma linguagem gráfica, que as pessoas estivessem habituadas a decifrar no seu dia-a-dia. Macnab, optou por uma referência mundial, as estruturas vivas. A partir desta referência, delineou um conjunto de características geométricas que interpretou como relevantes na identidade geométrica das mesmas e introduziu-as no seu processo de desenho (Macnab, 2011). A aplicação destas características no seu trabalho revelaram segundo a sua opinião, uma maior espontaneidade na decodificação dos códigos geométricos, beneficiando a interpretação da mensagem.

Para introduzir este padrão geométrico no processo de desenho, Macnab recorreu à aplicação de seis distintas características geométricas. São estas: padrões dinâmicos, vocabulário estrutural, organização estrutural, simetria, cor e proporção natural.

1 - Padrões Dinâmicos

Segundo Macnab, as estruturas vivas emanam energia devido ao modo dinâmico como fluem pela envolvente. Independentemente do substrato físico em que se possam manifestar, essa dinâmica recorre repetitivamente a um determinado conjunto soluções de cariz geométrico. A autora padronizou estas soluções em três distintos tipos: padrão de movimento, padrão de regeneração e conectividade e padrão de compactação.

1.1 - Padrões de movimento.

Este tipo de padrão pode ser caracterizado de duas maneiras distintas. Ou através de um padrão ramificado, ou através de um padrão sinuoso. O padrão ramificado caracteriza-se pela perda de intensidade ao longo da sua propagação no espaço. Já o padrão sinuoso pode apresentar variações de gradação sem uma cadência progressiva, mas caracteriza-se essencialmente pela predominância de um jogo de alternância de alto e baixo relevo ou de cheio / vazio (fig. 67).



Fig. 67 – Padrões de movimento.

Exemplo de padrão ramificado _ veios das folhas (esq.). É possível verificar a perda de intensidade gradual do padrão à medida que se vai subdividindo em diferentes veios.

Exemplo de padrão sinuoso _ jardim labiríntico (dir.). Este exemplo reflete um padrão dinâmico pela alternância de cheio / vazio.

1.2 - Padrões de regeneração e conectividade.

Tal como no padrão de movimento, Macnab também caracteriza este padrão de duas maneiras distintas. Este pode revelar-se através de um padrão em espiral, ou através de um padrão em onda. A expansão em onda advém da repetição de elementos estruturais em crescendo a partir de um centro. Já o padrão em espiral flui pela estrutura mediante um movimento de revolução, também este em crescendo e a partir de um eixo de rotação fixo. Ambos os padrões detêm um caráter expansivo. A sua fluidez fica registada nas estruturas sobre um efeito de níveis (fig. 68).



Fig. 68 – Padrões de regeneração e conectividade.

Exemplo de padrão em espiral _ Crescimento de uma planta (esq.).

Exemplo de um padrão em onda _ Teia de aranha (dir.).

1.3 - Padrões de compactação

Este tipo de padrões, caracteriza-se pela repetição de elementos geométricos dispostos em cadência, formando uma massa compacta sem desperdício ou excesso de elementos. Não

apresenta lacunas nem intersecção de elementos. As suas composições traduzem-se em malhas contínuas, com os elementos geométricos a serem ligados através da sobreposição dos seus limites (fig. 69). As malhas detêm uma legibilidade simples, sendo possível perceber, sem qualquer tipo de resistência visual, o “corpo” construtivo da forma.

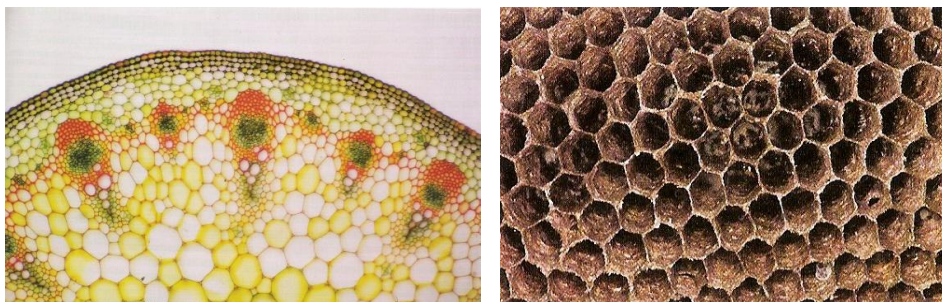


Fig. 69 – Padrões de compactação.
Exemplos de padrões de compactação _ Corte transversal pelo caule da flor Dahlia (esq.).
Composição estrutural de um ninho de vespas (dir.). Ambos os casos revelam composições geométricas com uma predominância pela forma hexagonal, ligada em continuidade e desenvolvendo malhas estruturais sem falhas.

2 -Vocabulário estrutural

O processo de identificação do vocabulário geométrico de Macnab, não adveio da observação direta de estruturas vivas. Para tal, debruçou-se sobre o trabalho desenvolvido por Angeles Arrien (1998). Esta dedicou-se a interpretar as formas predominantes com que o homem, nas diversas civilizações da sua existência, tem transposto a natureza para a arte. As formas enumeradas por Arrien foram cinco (quadrado, círculo, espiral, triângulo e cruz), sendo exatamente estas, que Macnab adotou para o vocabulário geométrico do seu processo de desenho (fig. 70).



Fig. 70 – Vocabulário geométrico adotado por Macnab e referenciado no trabalho desenvolvido por Angeles Arrien _ quadrado, círculo, espiral, triângulo e cruz _

3 - Organização estrutural

A beleza construtiva das estruturas naturais é fruto da conjugação de diversos elementos estruturais. Contudo, só esse fator não é suficiente para alcançar tal qualidade. De acordo com a investigação desenvolvida pela autora, estes elementos têm que ser ordenados na composição segundo determinados princípios geométricos: figura / fundo, fechado ou completo, continuidade, similaridade, proximidade e simplicidade.

3.1 - *figura / fundo* – As formas têm que ser totalmente legíveis. Para tal, necessitam de um fundo contrastante que lhe proporcione contexto (fig. 71).

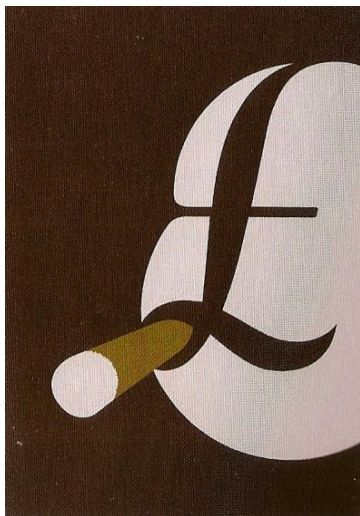


Fig. 71 – Ilustração de Noma Bar.

O fundo escuro contrasta com a cor clara dos elementos, permitindo uma clara compreensão dos mesmos.

3.2 - *fechado ou completo* – As formas das composições geométricas têm que ser fechadas, ou seja, o seu perímetro tem que ser totalmente circunscrito (fig. 72).



Fig. 72 - Símbolo pessoal do estudante Gurujot Kalsa.

As estruturas devem demonstrar com bastante clarividência, quais são os elementos geométricos que permitem alcançar a sua configuração. A legibilidade dos elementos fica favorecida, quando os mesmos denotam a particularidade de serem totalmente circunscritos.

3.3 - *Continuidade* – O olhar tem que fluir naturalmente pela forma. Isto requer dois fatores: a presença de uma direção que conduza o olhar e a ausência de interrupções estruturais que se apresentem como obstáculos de indecisão visual (fig. 73).

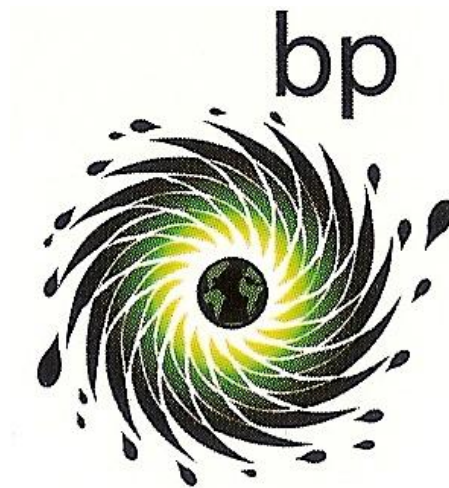


Fig. 73 – Símbolo da BP por Lyn Irvine.

Nesta composição, o olhar flui naturalmente da periferia para o centro sem qualquer tipo de perturbação visual. A presença de um padrão regenerativo (espiral) e a cadência de elementos organizados mediante o seu movimento criam um campo de forças que encaminham o olhar para um ponto de pausa na composição.

3.4 - *Similaridade* – Repetição de elementos geométricos. A partilha das mesmas características morfológicas confere-lhes a qualidade de pertencerem a uma mesma unidade (fig. 74).

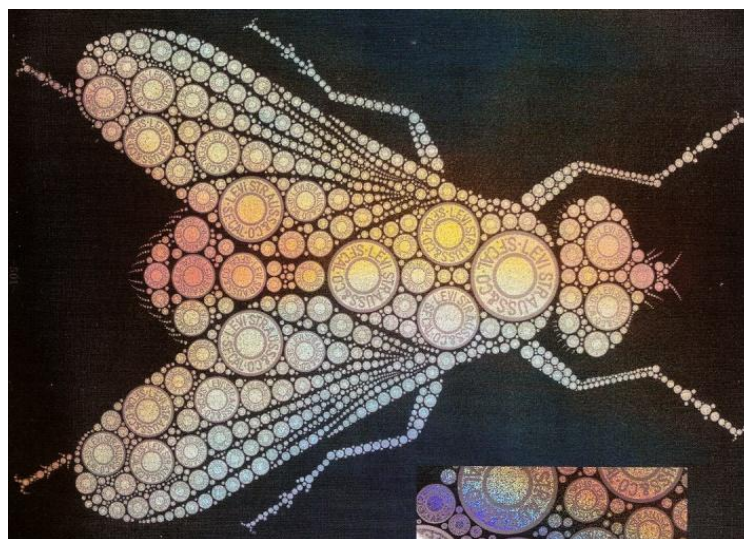


Fig. 74 – Desenho de uma mosca com o botão das Levis 501.

O uso do mesmo elemento com diferentes escalas permitiu desenvolver um tipo de composição Geométrica, em que os seus elementos são interpretados como parte de uma unidade.

3.5 - *Proximidade* – A unidade pode ser mantida coesa, mesmo sem a repetição do mesmo tipo de elementos. Para tal, tem que ser realizada com a adição de outros elementos da mesma família, ou seja, devem conter ângulos internos similares (fig. 75).

composição, a partir de um eixo de simetria referencial. Quanto à simetria por rotação, caracteriza-se pela distribuição de uma forma do espaço, a partir de um ponto referencial central e mediante uma organização igualitária de ângulos (fig. 77).

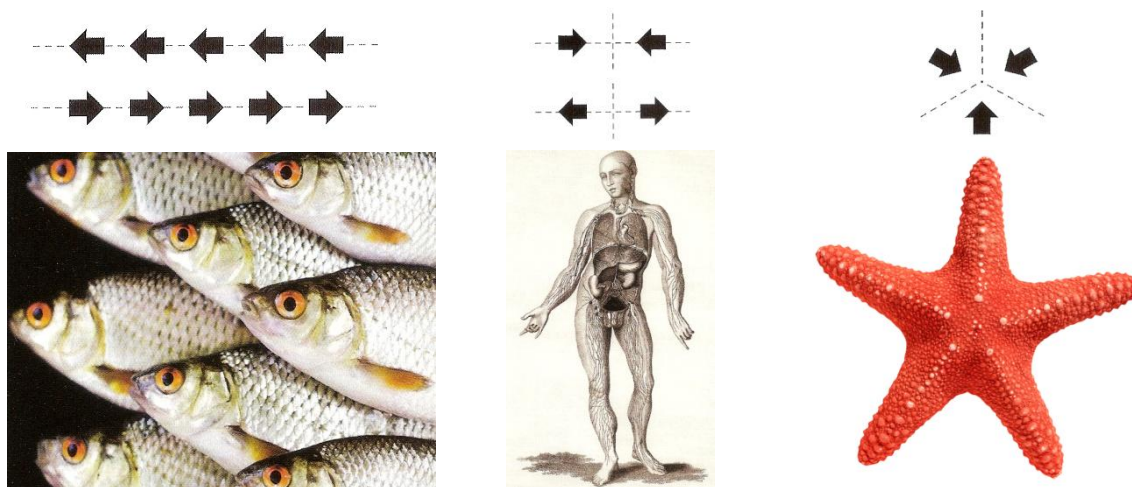


Fig. 77 – Tipos de simetria.

Exemplo de simetria por translação _ peixes (esq.). Sobreposição repetitiva de um conjunto de peixes, com o intuito de evidenciar reforçadamente uma direção (esq.).

Exemplo de simetria por reflexão _ corpo humano (centro). Repetição por espelhamento dos mesmos elementos mediante um eixo de simetria vertical.

Exemplo de simetria por rotação _ estrela do mar (dir.). Distribuição igualitária de cinco elementos num ângulo de 360°.

5 - Cor

Macnab, defende que a sensualidade da natureza advém do bem-estar emocional que a leitura das suas estruturas oferece ao recetor humano. A razão desta pacífica recetividade está relacionada com a ausência de “stress mental”. As estruturas naturais revelam-se de um modo simples e claro. A sua leitura é fluída e perfeitamente legível. A razão para esta sensibilidade interpretativa está na cor. Esta é importante para ordenar e tornar algo claro. As composições geométricas naturais usam-na constantemente mediante um processo de alternância ou de variação de tonalidade. É precisamente com este jogo de tonalidades que transmitem legibilidade e “sensualidade” (fig. 78).



Fig. 78 – A gama de cores visíveis dentro do espectro de cores humanas.

6 - Proporção natural

A agradável sensação que se obtém ao observar as composições geométricas biológicas vai mais além da implementação das características anteriormente definidas. Estas detêm uma outra característica oculta, que a autora denomina de “natural fit”. Esta “medida natural”, advém de uma tendência permanente na natureza designada por Phi. Phi, representa uma relação da quantidade de algo entre dois elementos e é traduzido matematicamente pelo valor 1.6180339887(..). Sendo um padrão proporcional constante nas estruturas vivas, a autora propõe que o desenho gráfico seja realizado sobre esta referência proporcional. O seu objetivo é conseguir obter padrões de relação estrutural agradáveis, tal como sucede nas estruturas vivas (fig. 79).

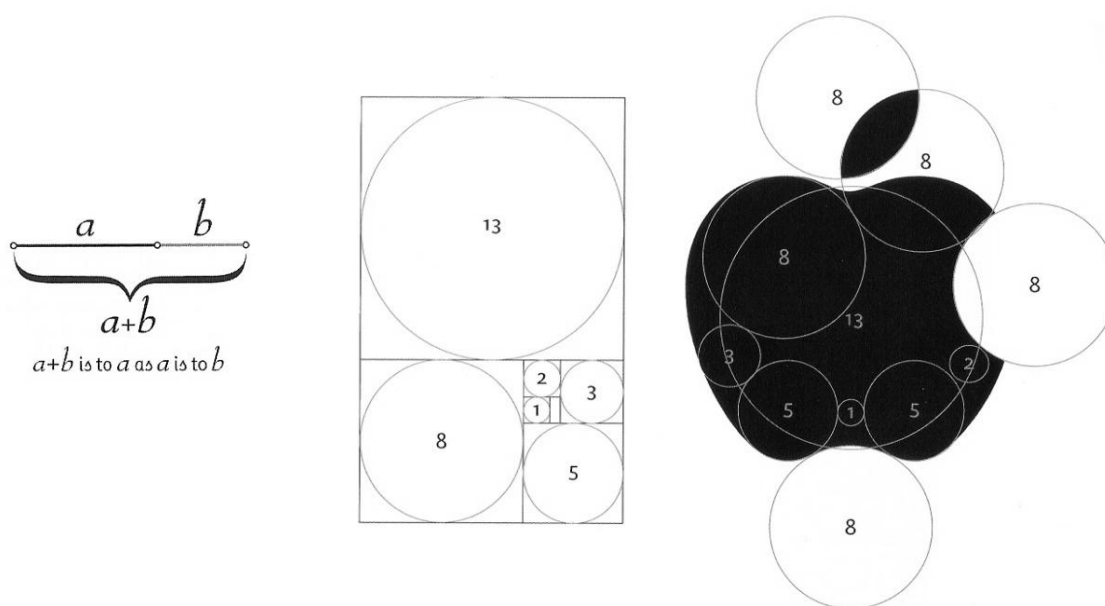


Fig. 79 – Exemplo da aplicação do rácio Phi na geração do logótipo da Apple.

Processo de desenho de Macnab

A ideia da autora passa por gerar composições geométricas que incluam todas as características, por si identificadas, em simultâneo numa composição geométrica. Macnab, não revela propriamente um processo de desenho. Elabora uma série de exercícios para cada uma das características, mas não exemplifica as operações necessárias para as fazer despontar em simultâneo. Apenas, apresenta exemplos já concluídos, sob um suporte gráfico de logs, que afirma serem detentores de todas essas características (fig. 80).



Fig. 80 – Alguns dos logótipos desenvolvidos por Macnab

Validação das características geométricas do processo de desenho de Macnab

A autora, não apresenta nenhum tipo de validação das composições geométricas obtidas do seu processo de desenho. Portanto, para verificar a presença das características geométricas, procedeu-se a uma análise gráfica de um dos seus logótipos. O resultado, no exemplo em questão, confirmou a presença das mesmas (fig. 81).

- (A) Proporção natural – A composição geométrica está organizada com a relação proporcional Phi (rácio de ouro);
- (B) Padrão dinâmico – Utilização do padrão em espiral, do grupo dos padrões de regeneração e conectividade;
- (C) Vocabulário geométrico – Os elementos estruturais revelam as propriedades geométricas da forma em espiral;
- (D) Simetria – A composição geométrica é equilibrada por simetria bilateral;
- (E) Cor – A legibilidade dos elementos estruturais é obtida por contraste preto / branco.
- (F) Organização estrutural
 - Figura / fundo – Os elementos estruturais detêm clara legibilidade obtida pelo contraste entre formas e fundo.
 - Fechado ou completo – Os elementos estruturais são formas fechadas perfeitamente contornáveis.
 - Continuidade – O olhar flui naturalmente pela forma, sem qualquer tipo de obstáculo visual.
 - Similaridade e proximidade – A composição é constituída por elementos geométricos do mesmo caráter morfológico.
 - Simplicidade – Os elementos geométricos que compõem a forma, são apenas os necessários à sua configuração.

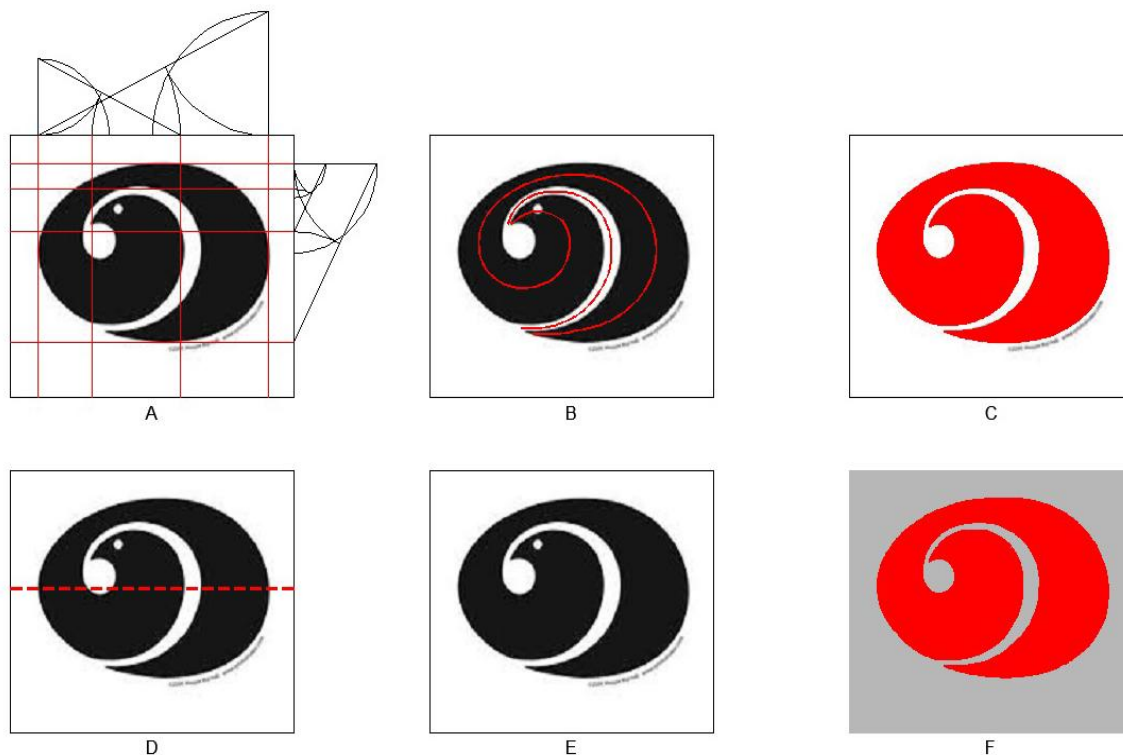


Fig. 81- Exemplificação gráfica da averiguação das características geométricas definidas por Macnab num dos seus logótipos.

2.3.3 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS _ ABORDAGEM PELO MÍNIMO INVENTÁRIO / MÁXIMA DIVERSIDADE

A abordagem das características geométricas por uma perspectiva de mínimo inventário, máxima diversidade, destaca as investigações de John Blackwood (2012) e Peter Pearce (1978).

2.3.3.1 John Blackwood (The geometry of nature)

John Blackwood, incide a sua investigação, no processo de representação geométrica dos diferentes tipos de simetria existentes nas estruturas vivas. Usando o teorema de triângulos de Desargues (fig. 82), demonstra que esses tipos de simetria podem ser obtidos através de pequenas variações do mesmo processo.

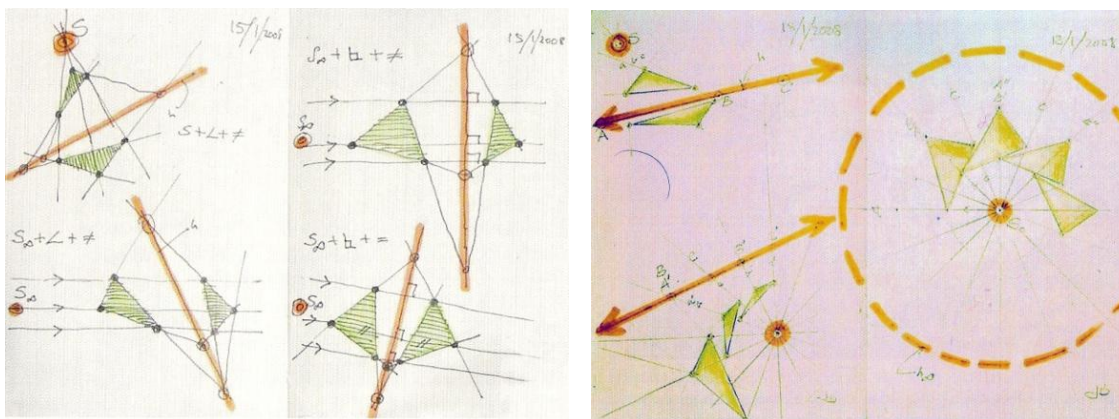


Fig. 82 – Exemplos de geração de simetria mediante o teorema de triângulos de Desargues.

Blackwood, revela uma forte preocupação em deixar claro uma particularidade geométrica da simetria das estruturas vivas. Esta não se manifesta por exatidão. O eixo de simetria destas composições geométricas, não identifica a mesma configuração formal para as distintas partes da composição. Estas revelam similaridade, mediante pequenas variações estruturais na composição, mas nunca uma reflexão perfeita de uma das suas partes. Portanto, a simetria deve ser interpretada numa perspectiva de aproximação e não de exatidão. Mediante esta ressalva, Blackwood prossegue a sua análise identificando três tipos de simetria nas estruturas vivas. São estas a simetria bilateral, a simetria radial e a assimetria.

- Simetria bilateral

Blackwood, considera este tipo de simetria a mais usual neste tipo de estruturas. Esta opera mediante reflexão, portanto requer um eixo de simetria que defina um alinhamento a partir do qual a composição se irá equilibrar (fig. 83). Contudo, não sendo esta regular, as variações ou distorções presentes em ambos os lados do eixo, requerem um foco de projeção, que espelhe as formas pelas suas qualidades geométricas e não pela sua exata configuração (fig. 83).

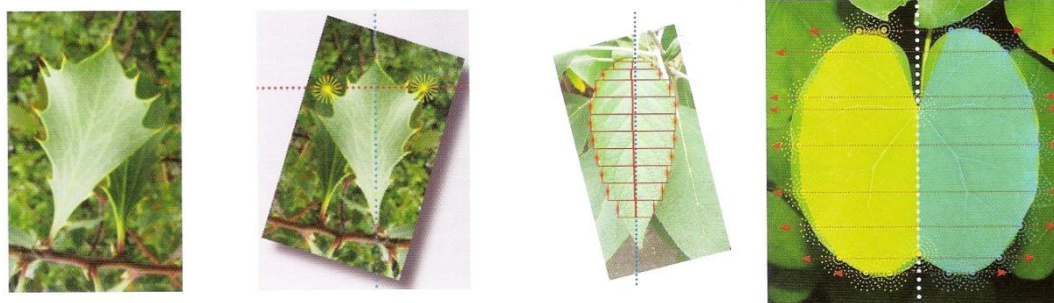


Fig. 83 – Exemplo de simetria bilateral. Demonstração da inexistência de uma reflexão por cópia idêntica.

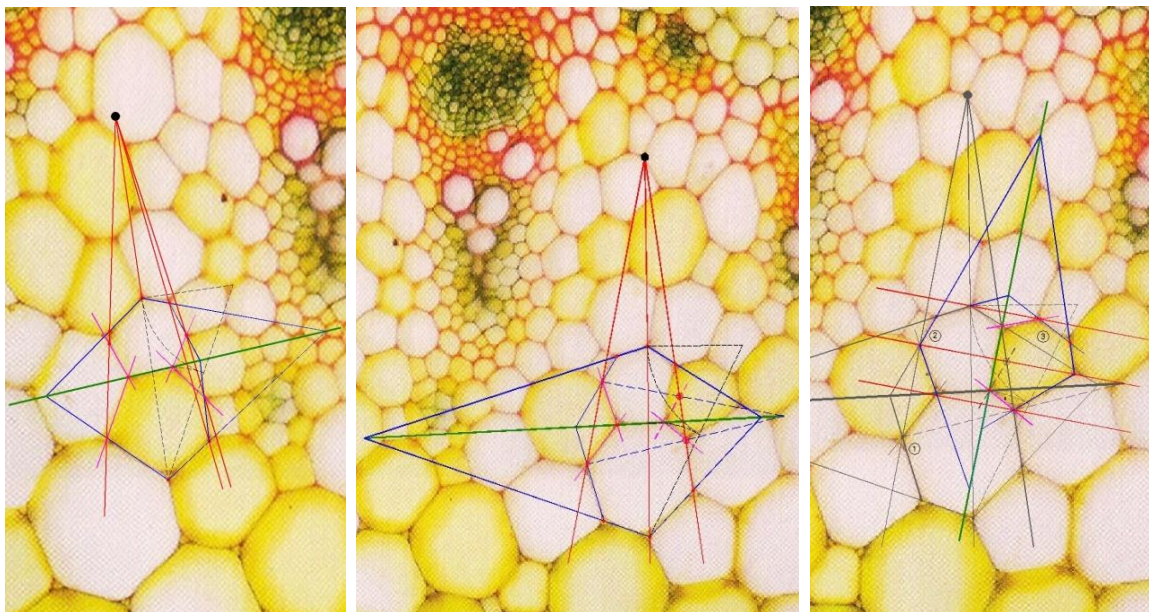


Fig. 84 - Exemplos de simetria bilateral mediante a aplicação do teorema de triângulos de Desargues. Reflexão não exata de um elemento geométrico, por meio de um foco de projeção (ponto preto) referenciado no eixo de simetria (linha verde).

- Simetria radial

A simetria radial, existe em todas as estruturas que possuem elementos posicionados de um modo equidistante em torno de um centro. Portanto, segundo o autor, esta requer um ponto, um compasso dentro de um espaço confinado e uma linha orientadora a tender para o infinito (o círculo) (fig. 85 e 86).



Fig. 85 – Simetria radial.

É constituída predominantemente por elementos com simetria bilateral, dispostos no espaço através de um ponto referencial de rotação.

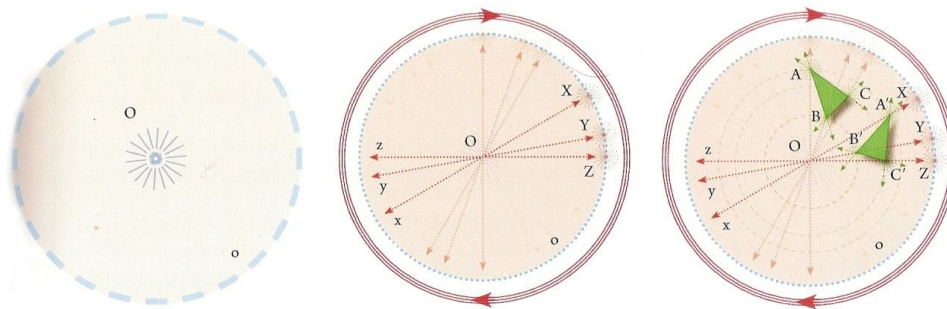


Fig. 86 - Exemplo de simetria radial, mediante a aplicação do teorema de triângulos de Desargues. Pelo ponto (O) e tendo como limite referencial a linha orientadora a tender para o infinito (o), são definidas três linhas de raio, onde será posicionado uma figura geométrica, (triângulo definido pelos pontos A, B e C). Definida a forma geométrica a repetir, basta definir um ângulo de rotação para esse elemento tendo, em conta o número de elementos que se pretendem colocar, equidistantemente, num ângulo de rotação de 360° .

- Assimetria

A interpretação de assimetria por parte de Blackwood, é distinta do usual. O autor não descreve a assimetria como a reflexão não exata de algo sobre um eixo de simetria. Para si, é uma variação existente na simetria radial, mais precisamente quando o centro de rotação da mesma não é coincidente como o centro “virtual” do perímetro formal apresentado pela estrutura. A não sobreposição de centros origina nas composições geométricas um peso visual “distorcido” face ao perímetro delineado pela composição. É perante este facto, que Blackwood a designa por assimetria (fig. 87).

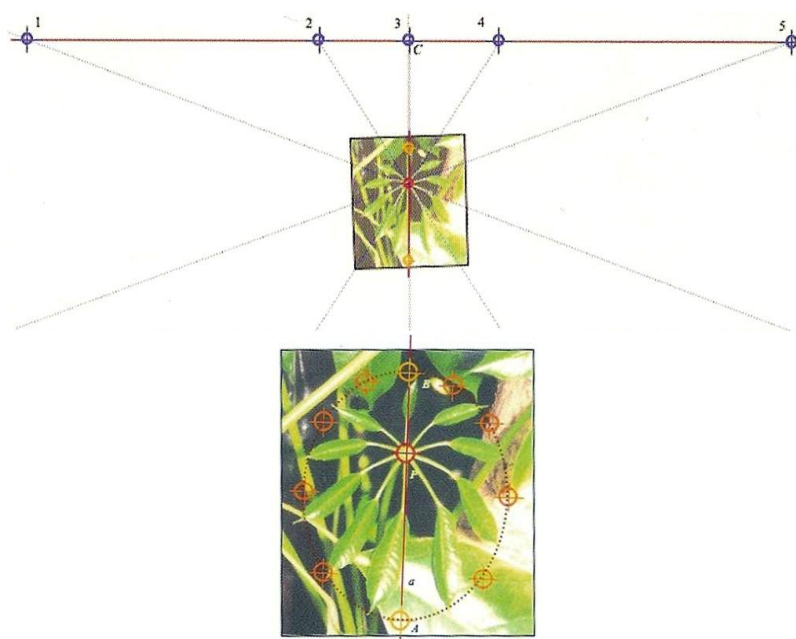


Fig. 87 – Exemplo de uma folha gerada por rotação assimétrica. O centro geométrico da forma elipsoidal não coincide com o centro gerador da mesma. A não sobreposição de centros, gera uma tensão de não uniformidade do limite face ao centro, distribuindo o peso visual da composição de um modo desuniforme.

Características geométricas detetadas por Blackwood no processo geométrico de geração de simetria das estruturas vivas.

A reprodução dos tipos de simetria das estruturas vivas mediante o teorema de triângulos de Desargues, demonstraram a Blackwood, que esta qualidade não é autónoma. A sua geração requer a presença de outras qualidades geométricas. O autor refere-se pelo menos a quatro, sendo elas: orientação, centro e periferia, medidas de crescimento e concavidade / convexidade (fig. 88).

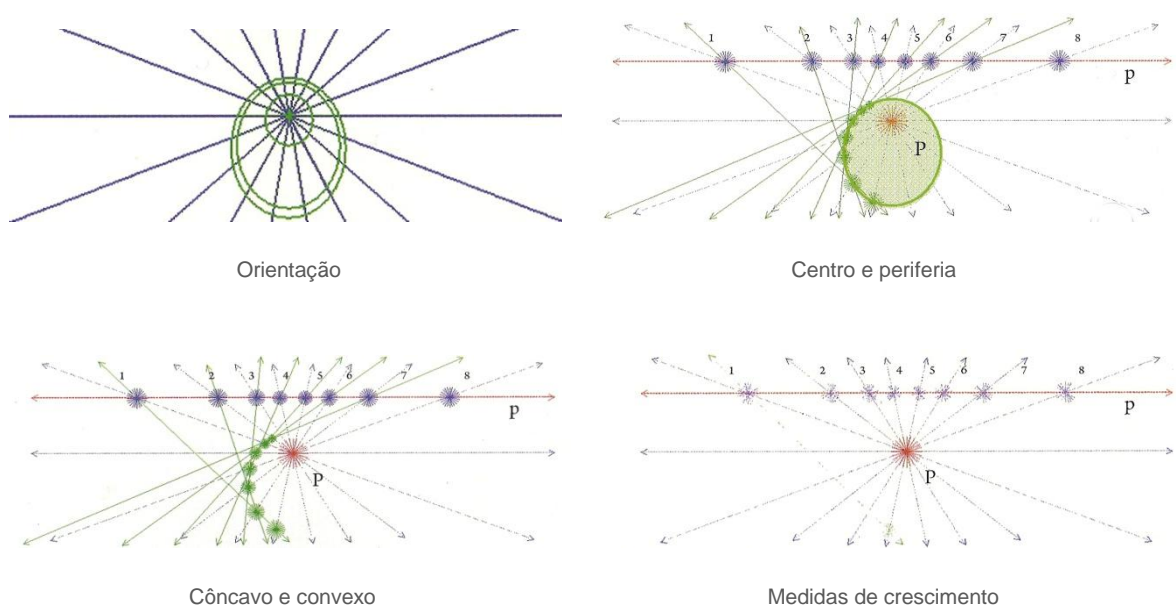


Fig. 88 – As características geométricas associadas à geração de simetria nas estruturas vivas.

1 - Orientação

As estruturas vivas, aparentam ter uma forte relação com uma particular orientação. Blackwood faz saber que estas detêm um tipo de composição geométrica organizada mediante uma orientação, demonstrando-a com exemplos do reino animal e do reino vegetal. No primeiro grupo, a organização da composição estrutural visa em gerar uma orientação com o intuito de evidenciar a cabeça. Já no reino vegetal, esta orientação predomina em direção à terra, ou seja, no ponto de contacto com o solo da qual emergem (fig. 89).

A orientação, também é o fator sobre a qual se manifesta a simetria. As estruturas vivas organizam-se em torno dela. Portanto, esta também desempenha um papel importante no seu equilíbrio (fig. 90).

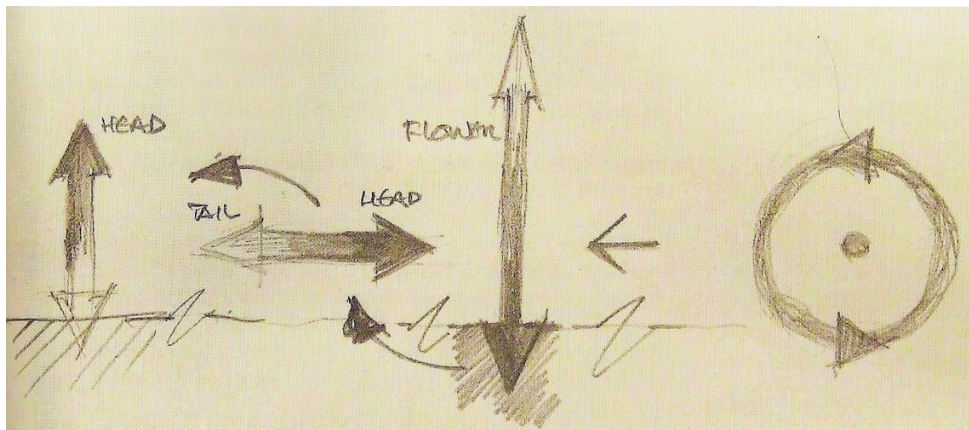


Fig. 89 - Orientações predominantes nas estruturas vivas.
No sentido da cabeça, no reino animal e no sentido do solo, no reino vegetal.

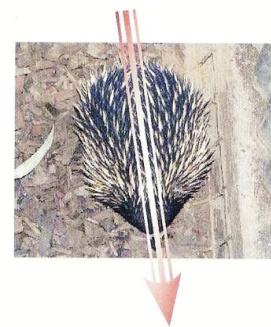


Fig. 90 – Exemplos de orientação estrutural num rinoceronte e num ouriço.
A simetria é dependente de uma orientação. É sobre esta que impõe a sua razão de ser, o equilíbrio estrutural.

2 - Centro e periferia

Estas estruturas, detêm um centro referencial que organiza a sua composição geométrica. Contudo, para estimar a existência e posição de um centro, é necessário considerar a existência de uma periferia. O centro só assume essa qualidade, se de for envolto por outro elemento geométrico agregado a si, com o intuito de o evidenciar. Portanto, este é uma ideia incompleta, se não existir a periferia e se esta não for orientada a seu favor (fig. 91).

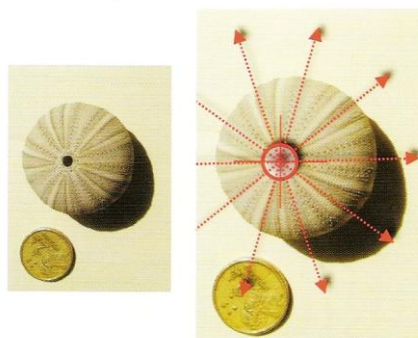
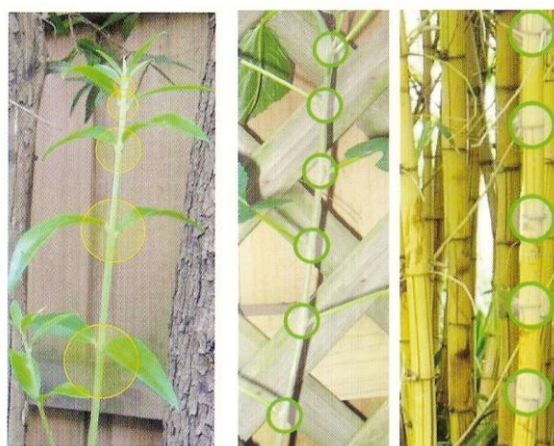


Fig. 91 – O centro e os respetivos raios de expansão num ouriço do mar.
O centro é uma zona da composição geométrica, que existe pela evidência criada pela existência de uma outra massa a si agregada.

3 - Medidas de crescimento

Grande parte das estruturas vivas, sobretudo as do reino vegetal, têm marcado nos seus substratos físicos as suas fases de crescimento. Blackwood identificou um padrão muito constante nessas marcas. Os nós de crescimento, apresentam-se com um padrão em decrescendo. Os pontos vão ficando cada vez mais próximo, até se fundirem num só. Este decréscimo é progressivo e não revela saltos de grande proporção. Impõem um ritmo e uma orientação, que convida o olhar a percorrer a estrutura de um modo fluído e organizado (fig. 92).



Oliveira selvagem (esq.), Amoreira (centro), Bamboo (dir.).

Fig. 92 – Medidas de crescimento.

As medidas de crescimento referenciadas em nós, revelam predominantemente um padrão em decrescendo.

4 - Concavo e convexo

O contorno das estruturas vivas, caracteriza-se por ser constituído por uma superfície curva ou por um conjunto de superfícies curvas multidirecionais. A superfície de contacto das mesmas com a envolvente, pode evidenciar dois tipos de disposição da curvatura: ou oferecendo o lado concavo da mesma à envolvente, ou o lado convexo (fig. 93).

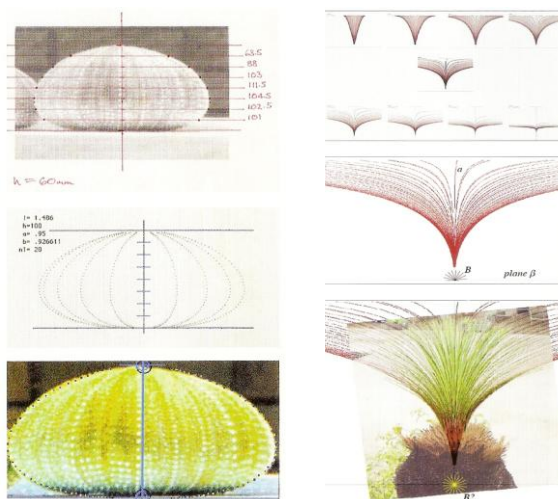


Fig. 93 – Exemplo de forma concava e convexa _ ouriço-do-mar (esq.), árvore relva (dir.).

2.3.3.2 Peter Pearce (Structure in nature is a strategy for design)

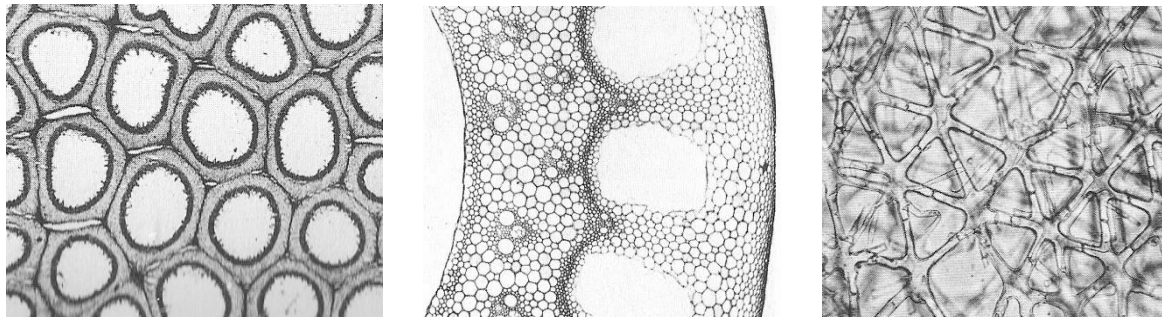
Inspirado nas estruturas tencionadas de Frei Otto e nas cúpulas de Buckminster Fuller (fig. 94), Peter Pearce (1978) desenvolveu um processo estrutural de intuito arquitetônico, baseado em princípios de standardização, mas com a particularidade acrescida de conseguir gerar diversidade formal. Para combinar estes dois requisitos, Pearce referenciou-se no padrão estrutural das estruturas vivas, mais propriamente na geometria modelar de moléculas, cristais e células. Pearce apercebeu-se que estas estruturas conseguem através de um padrão morfológico muito reduzido de elementos estruturais, desenvolver formas com uma enorme diversidade formal. No entanto, tentou perceber que características geométricas detinham esses elementos, para que em conjunto conseguissem potenciar essa diversidade. Das suas pesquisas, relacionou a diversidade formal existente nas estruturas, às seguintes qualidades geométricas: morfologia, sistemas de diversidade e padrões de agregação.



Fig. 94 – Expo 67.
Pavilhão da Alemanha na Expo 67 _ Frei Otto (esq.), Pavilhão dos Estados Unidos da América na Expo 67 _ Buckminster Fuller (dir.).

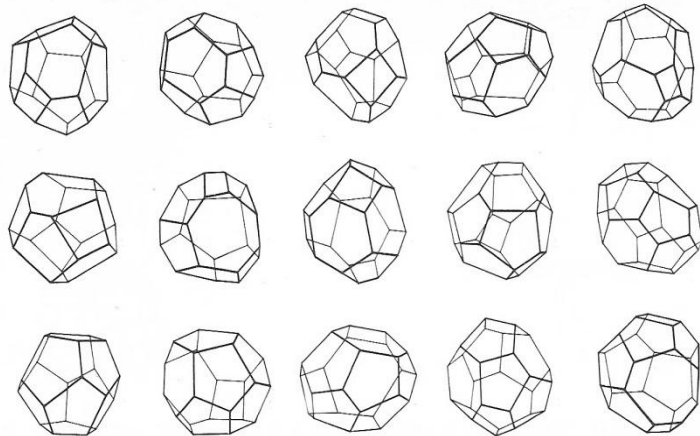
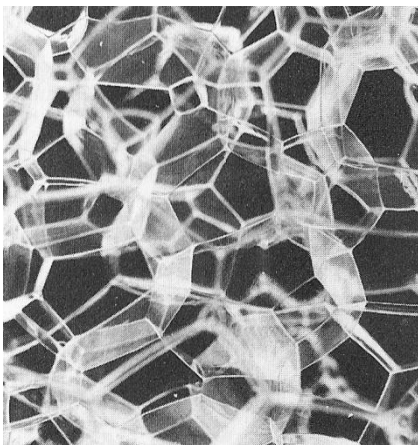
1 - Morfologia

Uma das temáticas sobre a qual Pearce se debruçou nas estruturas vivas, foi o caráter morfológico, ou seja, o tipo de vocabulário geométrico com que estas estruturas se constroem. Desta sua análise, muito fundamentada no trabalho de Thompson (1992), deduziu que existe um predomínio organizativo pela forma hexagonal (fig. 95). Estando estas formas vulneráveis a efeitos de compressão e deformação de forças naturais, a sua configuração pode simplificar-se, adquirindo a forma pentagonal, ou até mesmo, muito excecionalmente, a forma quadrangular. Do mesmo modo que estas forças simplificam a forma hexagonal, estas também podem revelar o sentido inverso, sendo frequente encontrar exemplos de heptágonos e octógonos. Contudo, sendo os elementos estruturais, elementos tridimensionais, os polígonos referenciados podem surgir em simultâneo num só sólido. Assim sendo, Pearce invoca como principal elemento estrutural das estruturas vivas, o poliedro (fig. 96).



Vista inferior de um cogumelo (esq.), secção transversal de uma cana (centro), células medulares do juncus (dir.).

Fig. 95 – Predominância da forma hexagonal na configuração geométrica dos elementos estruturais.



Bolhas de sabão (esq.). Desenho de células de bolhas de sabão (dir.).

Fig. 96 – Exemplo da morfologia tridimensional dos elementos estruturais das estruturas vivas _ poliedros.

2 - Sistemas de diversidade

Segundo a interpretação de Pearce, a capacidade com que a vida gera diversidade formal com o mesmo tipo de elementos estruturais, requer destes, algumas especificidades geométricas. Primeiro, os elementos geométricos têm que ser compatíveis, ou seja, têm que proporcionar encaixe. Isto significa, que devem partilhar a mesma família de ângulos. Segundo, os ângulos internos dos poliedros devem ser variados. A construção com elementos exatos restringe a diversidade morfológica do conjunto, sendo ainda mais restringida se os elementos geométricos forem formas retangulares. Por fim, a diversidade por agregação de elementos, requerem elementos individuais simples e claros. Por esta razão, os limites dos seus perímetros devem ser dispostos na composição por sobreposição, não invadindo o espaço restringido por outros elementos (fig. 97).

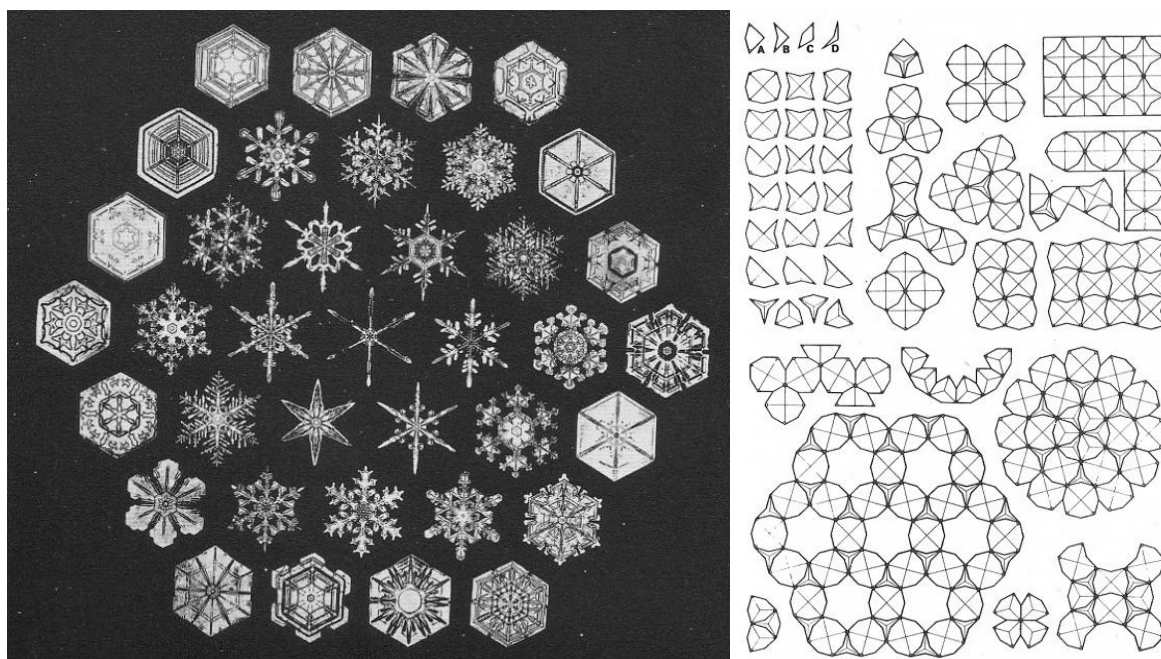


Fig. 97 – Mínimo inventário / máxima diversidade.

Exemplos de diversidade formal em estruturas naturais, os flocos de neve (esq.). Exemplo da diversidade de composições geométricas geradas por elementos estruturais com o mesmo caráter morfológico (dir.).

3 - Padrão de agregação

Os elementos estruturais que compõem as estruturas vivas, são organizados de um modo compacto a que Pearce denomina por “Packing”. Este tipo de organização caracteriza-se pela disposição dos elementos estruturais de um modo alternado (ver imagem da dir. fig. 98) e segundo uma configuração triangular (fig. 99). Esta organização permite evitar espaços residuais entre si (ver imagem da esq. fig. 98).

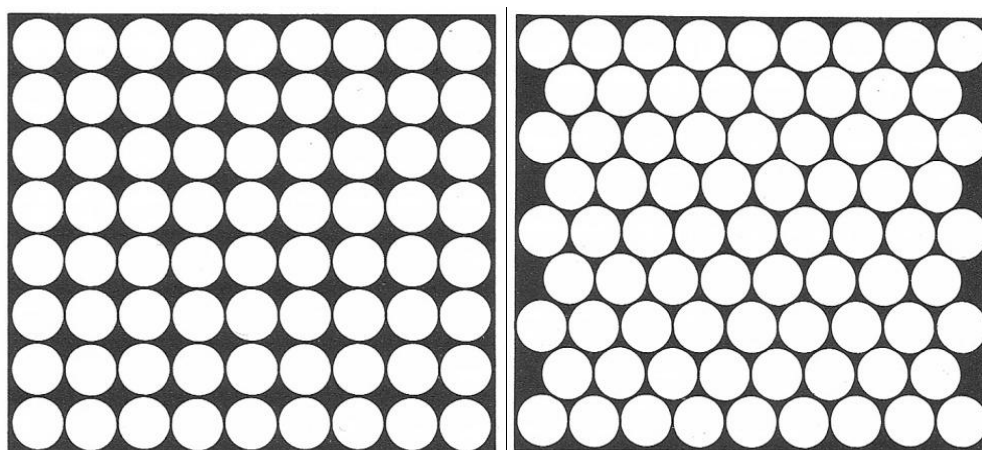


Fig. 98 – Processo de agregação.

O encaixe de elementos esféricos por continuidade linear produz uma malha estrutural com bastante espaço residual (esq.). Por outro lado, a disposição dos elementos esféricos, mediante um processo alternado em triangulação (dir.), reduz bastante o espaço residual entre os elementos, tornando a malha estrutural mais coesa.

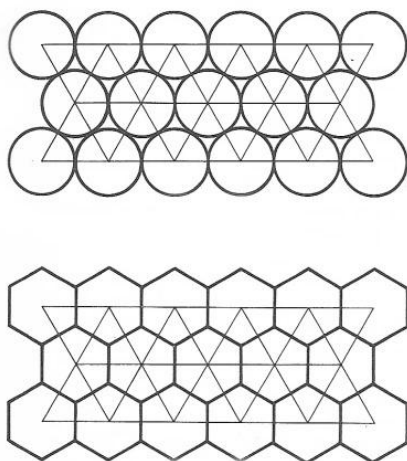


Fig. 99 – Esquema exemplificativo da disposição dos elementos em triangulação. Demonstração da razão pela predominância da forma hexagonal nos elementos estruturais. Estas formas reduzem por completo o espaço residual entre elementos, fortalecendo a coesão estrutural.

Introdução das características geométricas no processo de desenho

A introdução das características geométricas no processo de desenho foram feitas de forma faseada e de acordo com as decisões de caráter generativo a querer implantar. Para uma compreensão da sua articulação com o processo de desenho desenvolvido pelo autor, segue-se uma descrição sucinta dos passos generativos delineados por Pearce, na geração dos seus modelos estruturais.

O primeiro passo consiste na definição de um sólido referencial que estabelece os limites máximos que a forma a gerar pode ocupar no espaço. O seu leque de opções está limitado a poliedros platônicos e arquimedianos (fig. 100).

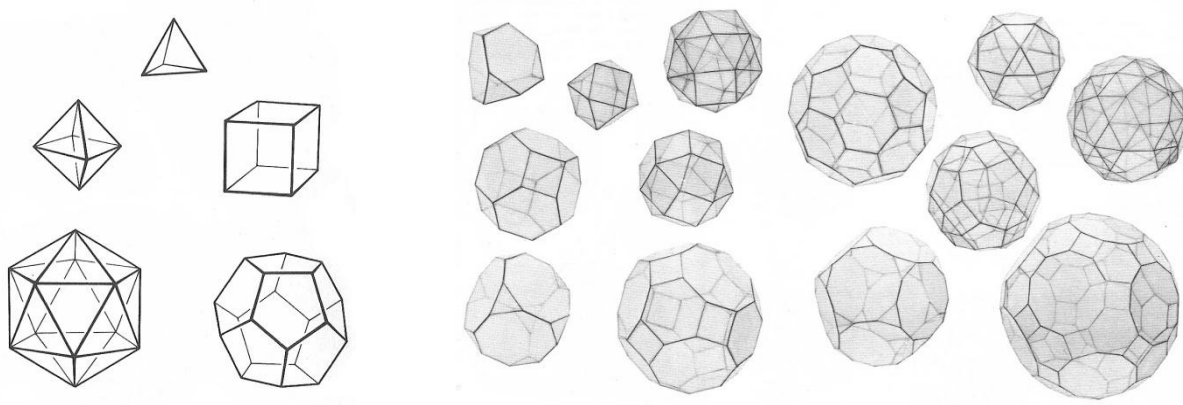


Fig. 100 – Poliedros platônicos (esq.) e poliedros arquimedianos (dir.).

Selecionado o sólido (poliedro), a metodologia propõe o preenchimento do seu volume com esferas (fig. 101). A sua distribuição também requer alguns princípios. A dimensão das esferas é referenciada nos vértices do sólido. O número de esferas a ser introduzido no volume, depende da dimensão das esferas referenciadas nos vértices. A sua distribuição, é feita em camadas lineares e devem ser dispostas intercaladamente com as camadas que lhe antecedem, tal como descrito anteriormente no processo de “packing” (fig. 101).

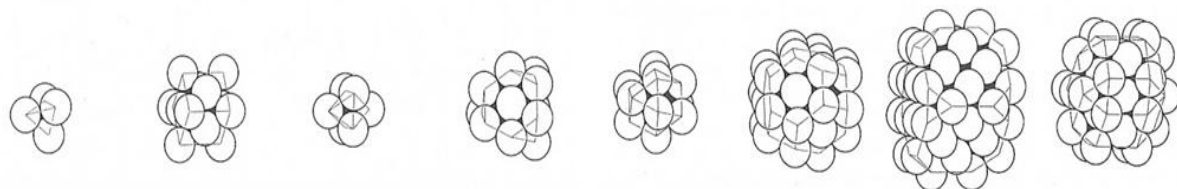


Fig. 101 – Alguns exemplos de distribuição de elementos estruturais (esferas) em poliedros.

Distribuídas as esferas, estas são transformadas em poliedros com faces predominantemente hexagonais (fig. 102). Com o intuito de suavizar a fragmentação provocada pelas faces, são associadas às mesmas, malhas triangulares. Esta subdivisão permite que a conjugação dos elementos se aproxime de novo, do formato esférico (fig. 103).

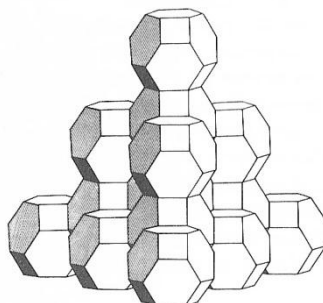


Fig. 102 – Facetamento das esferas mediante uma solução de contacto por forma hexagonal (octaedro truncado).

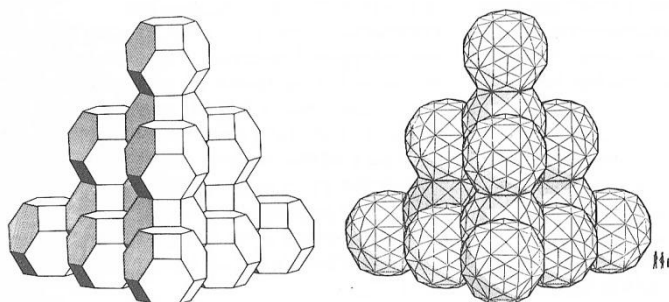


Fig. 103 – Triangulação das superfícies hexagonais

Feita a triangulação dos diversos elementos estruturais, os perímetros das formas triangulares serão isolados e organizadas mediante o sistema universal de nós (fig. 104). Este tipo de estandardização modular, permite obter um leque bastante diversificado de configurações espaciais, mediante a alteração de três variáveis: poliedro inicial, número de elementos estruturais e escala. No campo da arquitetura, a modulação permite uma grande variedade de hipóteses de abertura de vãos e orientação dos mesmos. Esta versatilidade dá resposta a um dos requisitos impostos por Pearce, um sistema modular flexível às exigências da envolvente (fig. 105).

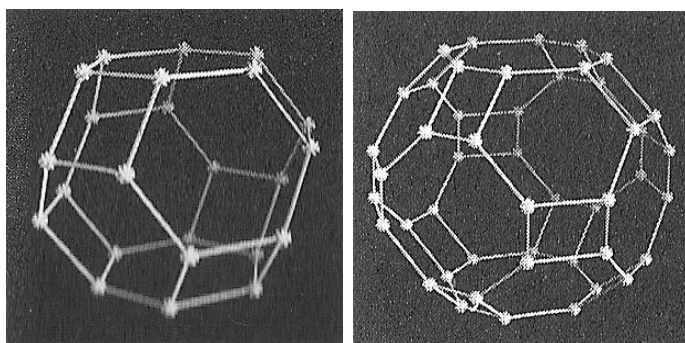


Fig. 104 – Aplicação do sistema universal de nós em poliedros.
Octaedro truncado (esq.) e Cuboctaedro truncado (dir.).

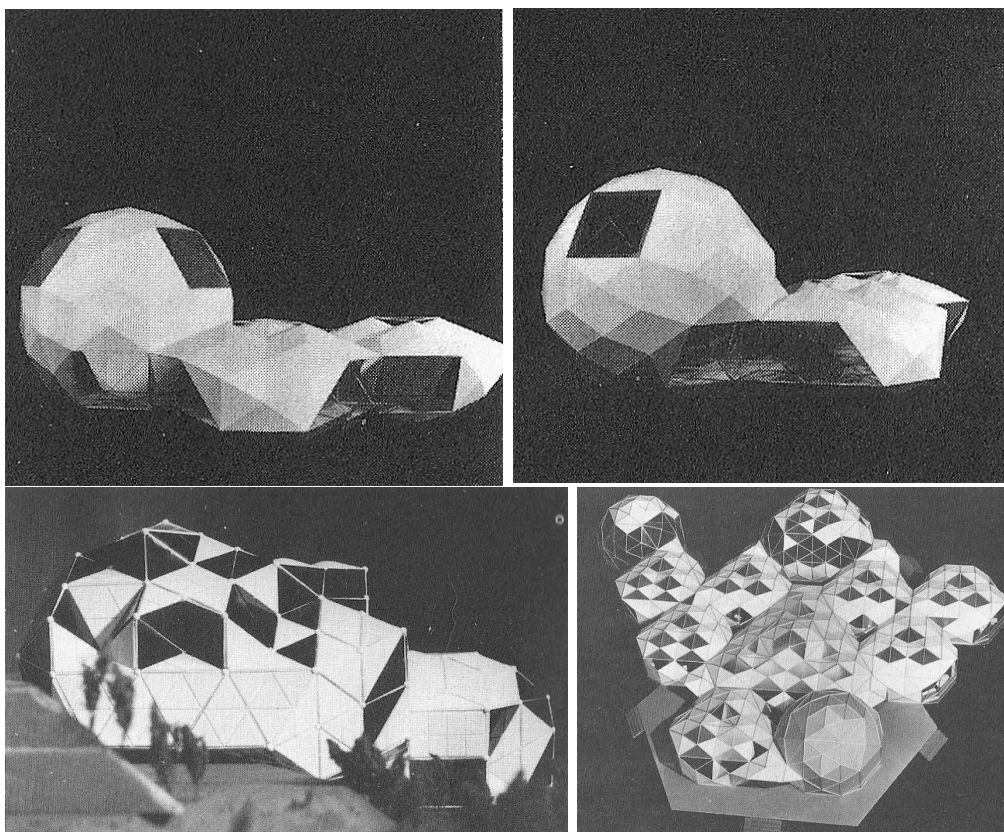


Fig. 105 – Exemplos da aplicação do sistema estrutural em modelos arquitetônicos.

2.3.4 CONCLUSÃO _ ANALOGIAS E CORRESPONDÊNCIAS

Independentemente do foco escolhido para abordar a geometria nas estruturas vivas, as diferentes abordagens denotam algumas similaridades. No entanto, apenas o leque de características identificadas por Alexander denota a particularidade de conseguir englobar todas as outras (fig. 106). Alexander é o único dos autores que pensa na morfologia mediante o processo que o gera, o crescimento. Há uma preocupação pela identificação de características vinculadas a um mecanismo de geração, por ser este que irá transportar a identidade para as estruturas. Os restantes autores, não interpretam as características pela génese da forma, mas sim, por particularidades geométricas da morfologia da mesma. Este facto reduz substancialmente o número de correspondências entre as mesmas, como é possível de observar nas figuras 107, 108 e 109.

Sendo um dos objetivos da investigação, a definição de um conjunto de características geométricas vinculadas à identidade morfológica das estruturas vivas, será colocado como principal referência à definição das mesmas, o conjunto delineado por Alexander. Contudo, esta referência terá sempre em atenção, a contribuição que as características definidas pelos restantes autores possam trazer para o enriquecimento das mesmas.

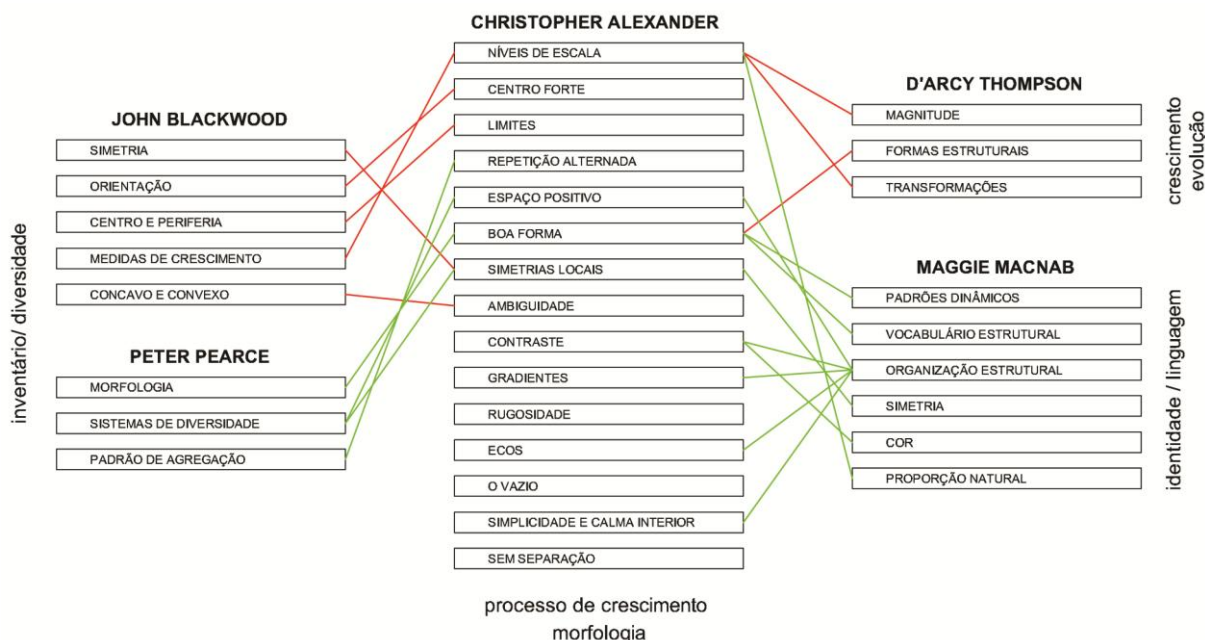


Fig. 106 – Características geométricas dos autores. Correspondências entre o leque de características definidas por Christopher Alexander e o leque de características definidas pelos restantes autores.

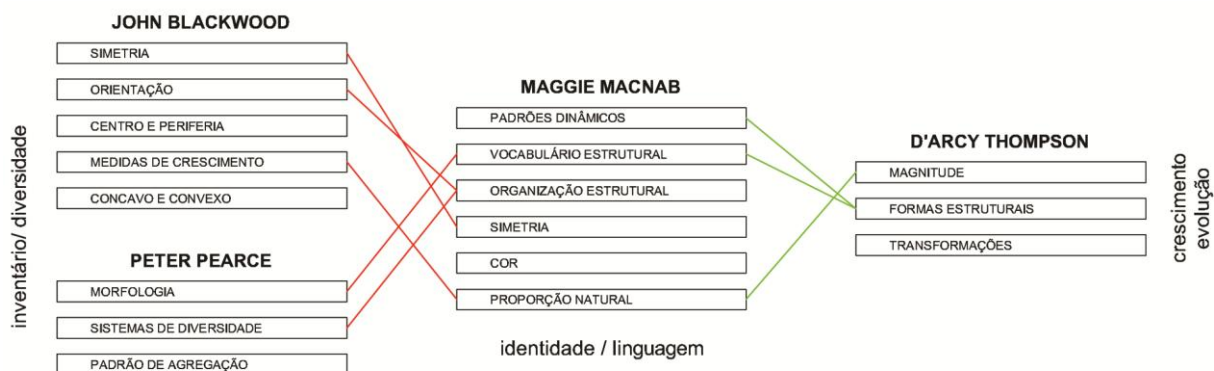


Fig. 107 – Correspondências entre o leque de características definidas por Macnab e os restantes autores (exceto Alexander).

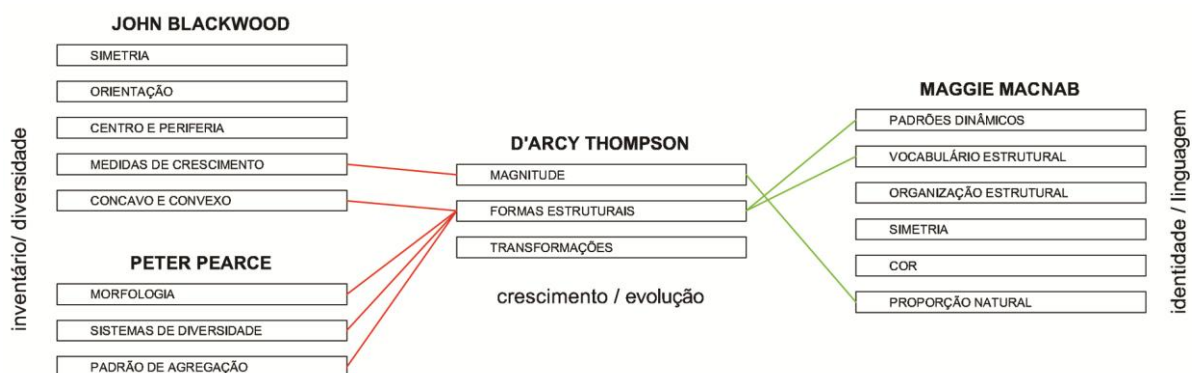


Fig. 108 – Correspondências entre o leque de características definidas por Thompson e os restantes autores (exceto Alexander).

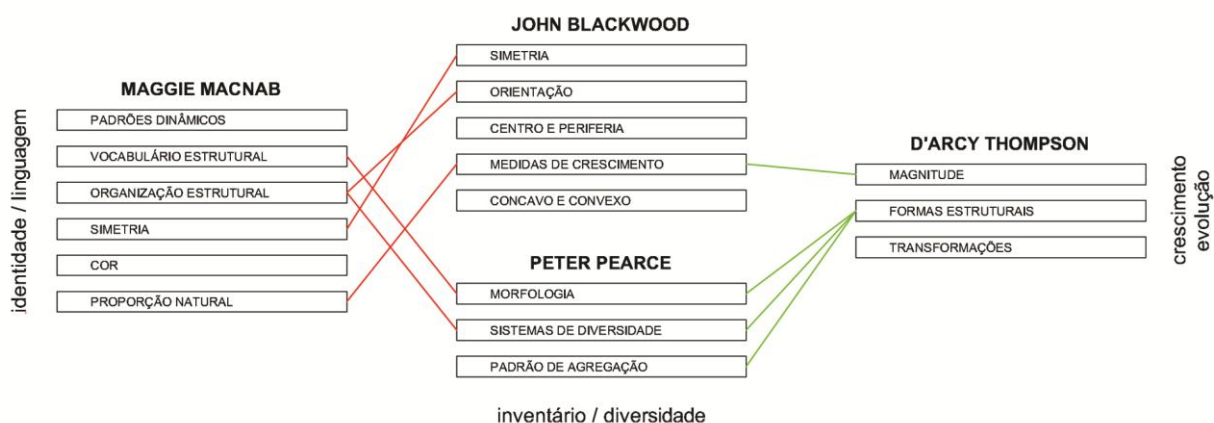


Fig. 109 – Correspondências entre o leque de características definidas por Blackwood e Pearce e os restantes autores (exceto Alexander).

2.4 FERRAMENTAS DE DESENHO

Sendo o principal propósito desta investigação, a geração de um processo de desenho de essência geométrica, este irá requerer o uso de ferramentas de desenho para a sua concretização. Demonstrando os mecanismos de crescimento das estruturas vivas, um processo generativo orientado mediante consecutivas transformações, remete-se para estas qualidades, as exigências referenciais a requerer nas ferramentas de desenho. Neste âmbito, foram identificados duas ferramentas: o diagrama de Voronoi (Okabe et al, 2008) e as gramáticas da forma (Stiny, 1972, 2008). O diagrama de Voronoi, é um sistema de fragmentação espacial, com capacidade de expansão sem perda de identidade. Portanto, contém potencialidades generativas, pois cria formas e é orientada mediante regras. Quanto às gramáticas da forma, é uma ferramenta de geração de forma por transformação sucessiva, mediante regras predefinidas. Estas regras podem ser aplicadas aleatoriamente, o que permite gerar um leque bastante diversificado de soluções com a mesma identidade geométrica. Portanto, esta ferramenta denota qualidades de orientação, pois fundamenta-se em regras, como denota qualidades generativas, pela diversidade de soluções que o mecanismo de transformação pode auferir às formas.

2.4.1 DIAGRAMA DE VORONOI

Apesar de existirem registos anteriores da sua aplicação por René Descartes em 1644, Johann Dirichlet em 1850 e John Snow em 1854, o diagrama de Voronoi, é uma ferramenta de desenho, nomeada em 1908, pelo matemático russo Georgy Fedossevich Voronoi.

O diagrama de Voronoi, consiste num processo de divisão espacial a partir de um conjunto de pontos aleatórios predefinidos no espaço, que detém a particularidade de gerar uma malha de polígonos irregulares com o mesmo carácter morfológico (fig. 110). A possível adição de pontos, torna a sua expansão infinita, possibilitando a geração de inúmeras configurações geométricas sem nunca perder a mesma identidade geométrica.

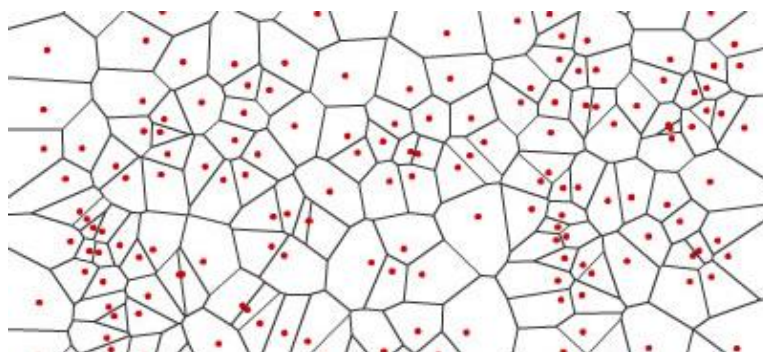


Fig. 110 – Diagrama de Voronoi _ exemplo.

Os diagramas de Voronoi têm inúmeras aplicações em diferentes campos da ciência, como são exemplo os casos da climatologia, física de polímeros, robótica, química computacional, entre outras. O interesse nesta ferramenta de desenho na investigação em curso deve-se essencialmente à sua capacidade gráfica para gerar alguns tipos de texturas similares às encontradas na natureza biótica e abiótica (fig. 111).

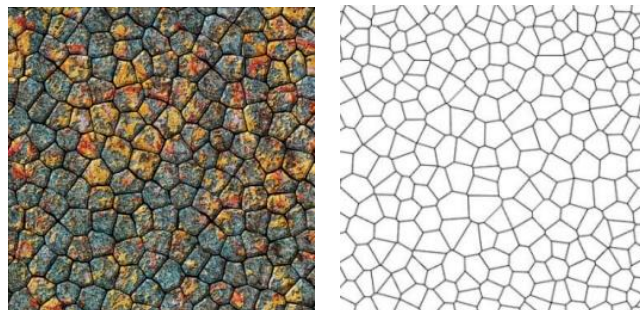


Fig. 111 – Comparação entre um padrão geométrico natural (esq.) e um padrão de diagrama de Voronoi (dir.).

O fundamento básico do diagrama de Voronoi, é o seccionamento do espaço mediante um conceito de proximidade. A fragmentação espacial pretende informar, em termos de distância, a área de maior proximidade a um ponto referencial. Para uma melhor compreensão do conceito observe-se a fig. 112. Estão dispostos no espaço três pontos referenciais (A, B e C) e uma localização P. A localização “P” detém uma localização tal, que não é possível perceber, de um modo espontâneo, a qual dos pontos referenciais se encontra mais próximo. A aplicabilidade dos diagramas de Voronoi permitem determinar, em termos gráficos, as zonas de proximidade aos pontos referenciais. Deste modo, é possível afirmar que a localização P, se encontra mais próxima do ponto referencial A.



Fig. 112 – Diagrama de Voronoi. Determinação de áreas de proximidade.

Como se geram diagramas de Voronoi? Primeiro, há que distribuir no espaço um conjunto de pontos. Posteriormente à sua colocação, estes devem ser unidos por segmentos de reta de acordo com o sistema de triangulação de Delaunay (Aurenhammer et al, 2013) (fig. 113). A malha triangular obtida, será a base referencial sobre a qual serão geradas todas as formas que irão seccionar o espaço.

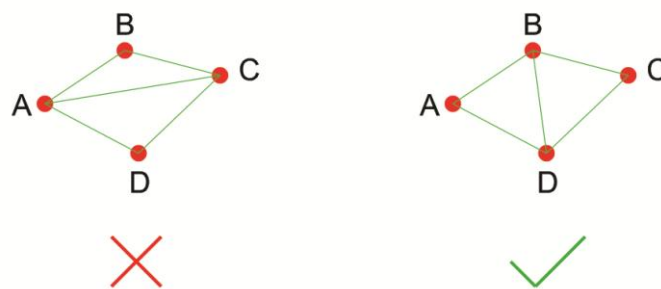


Fig. 113 – Aplicação do sistema de triangulação de Delaunay.

A união entre dois pontos não deve anular uma outra união de menor dimensão. Na figura da esquerda o ponto “A” une-se com os pontos “B”, “C” e “D”. Contudo, a união AC anula uma outra de menor dimensão, a união BD. Assim sendo, o ponto “A” deveria unir-se somente aos pontos “B” e “D”, como exemplificado na figura da direita.

Definida a triangulação, a fragmentação do espaço procede-se da seguinte forma: a partir do ponto mediano de qualquer segmento de reta que una dois pontos, é lançada uma reta na sua perpendicular. A intersecção destas retas define o centro de uma circunferência que une os pontos referenciais do triângulo (fig. 114). A aplicação sucessiva deste conceito em malhas de pontos mais densas gera uma malha de formas poligonais irregulares.

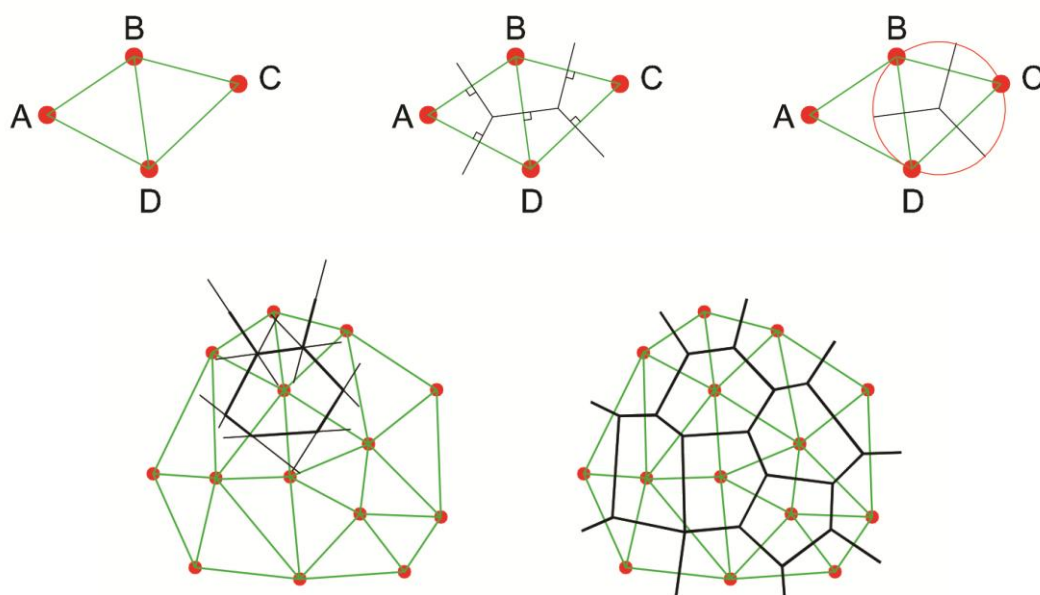


Fig. 114 – Processo de fragmentação espacial referenciado no sistema de triangulação de Delaunay.

Diagrama de Voronoi na arquitetura

A aplicação de diagramas de Voronoi em arquitetura é recente, denotando ainda um cariz muito experimental. A introdução está a ser feita essencialmente em fachadas, sob a

solução de “peles”, em estudos estruturais e em coberturas (fig. 115). Sobretudo na vertente estrutural e de coberturas, esta ferramenta apresenta-se como um processo alternativo de conceção espacial, que está a aumentar a capacidade de criar e explorar diferentes soluções espaciais para fins humanos. A sua aplicabilidade, neste campo, começa a ser revelante. Está a mudar a ideia de conceção de espaço arquitetónico, a identidade morfológica das formas e até mesmo, o processo de desenho instituído.

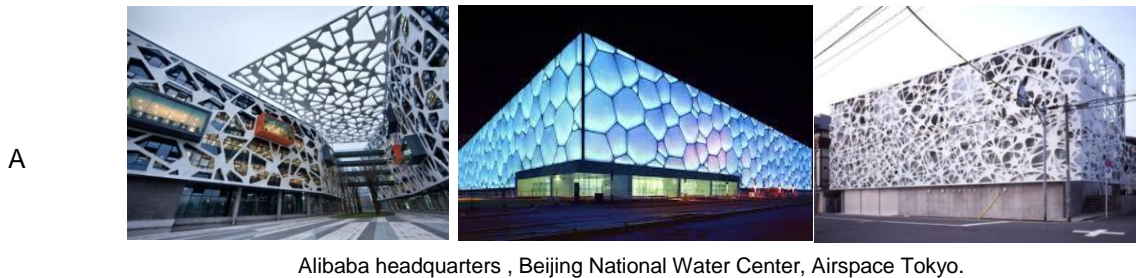


Fig. 115 – Aplicabilidade do diagrama de Voronoi na arquitetura.
A – fachadas; B – estruturas, C – coberturas.

2.4.2 GRAMÁTICAS DA FORMA

As gramáticas da forma é um sistema de desenho generativo desenvolvido por George Stiny e James Gips em 1972. Concebido originalmente, para ser usado na pintura e na escultura, tem vindo a ser estudada na arquitetura pela sua capacidade de formalizar novas soluções, independentemente do seu universo de ação.

As gramáticas da forma, contém 4 componentes: forma inicial, formas, rótulos e regras. As formas são especificadas por um finito conjunto de linhas, sendo cada linha definida num sistema de coordenadas cartesianas. Este processo de especificação da forma é usado para garantir a sua unicidade (fig. 116). Conjuntamente com os rótulos, as formas são os elementos estruturais com os quais as regras se constroem. As regras, são as ordens sobre as quais uma composição geométrica pode ser gerada. A sua aplicação, requer um sistema que funcione por transformação. Elas ordenam que uma forma, ou parte dela, se transforme numa outra. Como tal, estas devem ser constituídas por um lado A, onde se representa uma determinada configuração geométrica a identificar na composição em geração e um lado B, onde é representada a configuração geométrica que irá substituir a do lado A (fig. 117). À substituição da forma, podem estar associadas operações booleanas (adição, subtração e intersecção) ou alterações euclidianas (translação, rotação, reflexão e escala). Ainda no âmbito das regras, há ainda a possibilidade de não ser conferida nenhuma forma ao lado B da regra. Neste caso procede-se simplesmente à remoção da configuração geométrica do lado A da regra.

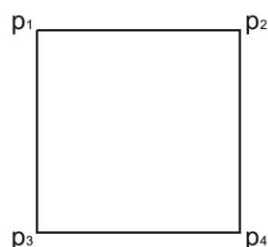


Fig. 116 – Exemplo de uma forma.

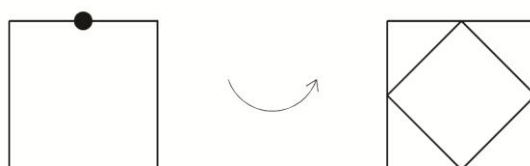


Fig. 117 – Exemplo de uma regra.
Lado A da regra (esq.) e lado B da regra (dir.).

Para além das regras e formas, um outro elemento pode ser inserido conjuntamente com as formas. Estes elementos são denominados por rótulos. Estes são uma marcação que tem como intuito marcar uma direção e/ou um posicionamento específico. Normalmente estão associados a um lado de simetria (fig. 118 e 119).



Fig. 118 – Exemplo de aplicação de rótulos nas regras.

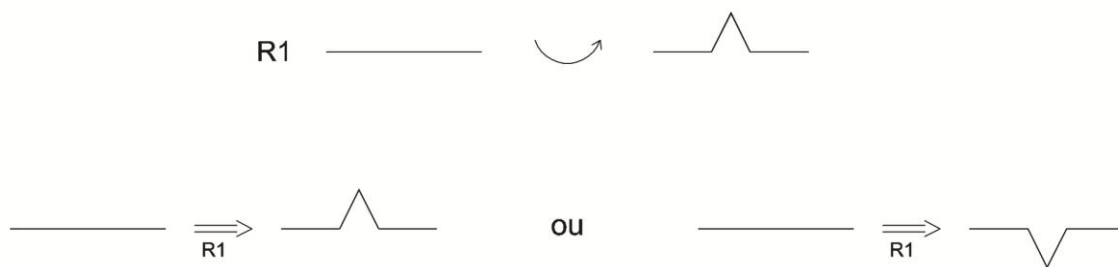


Fig. 119 – Ausência de rótulos.

Sem a presença de um rótulo a demarcar uma posição precisa, a aplicação da regra R1 pode dispor a forma do lado B da regra de duas maneiras distintas no espaço.

A geração de formas, mediante uma gramática da forma, requer sempre a definição de uma forma inicial e regras. As regras devem ser aplicadas individualmente à forma inicial, ou às formas resultantes de anteriores aplicações de regras. Portanto, o sistema baseia-se num processo de transformação passo a passo (fig. 120).

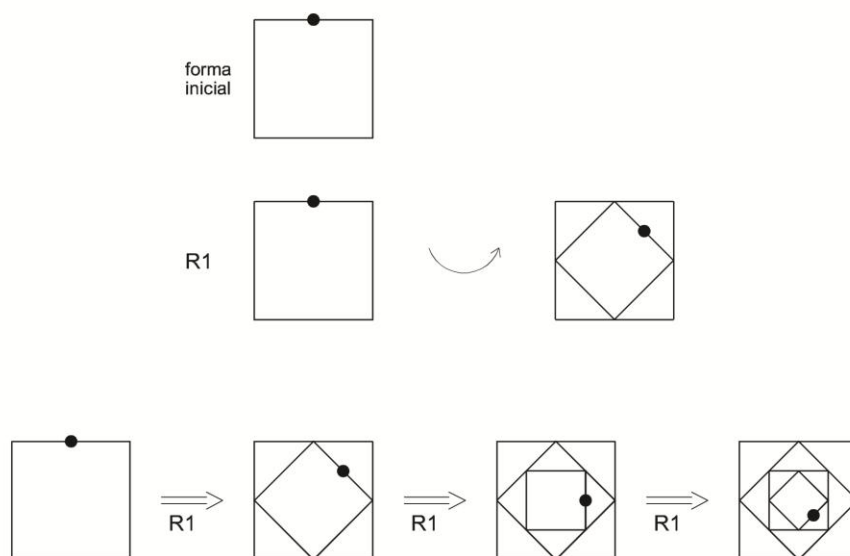


Fig. 120 – Exemplo de uma gramática simples _ forma inicial e regra (R1)
Geração de uma forma usando a gramática da forma.

Contudo, para que as regras não sejam aplicadas continuamente, as gramáticas da forma devem conter regras de termino. Isto significa, que devem existir regras, cuja transformação dê origem a uma forma, ou partes de forma, que não seja igual a nenhum dos lados A das regras existentes. Deste modo, a gramática não poderá proceder a mais nenhuma transformação, dando-se a geração da forma como concluída (fig. 121).

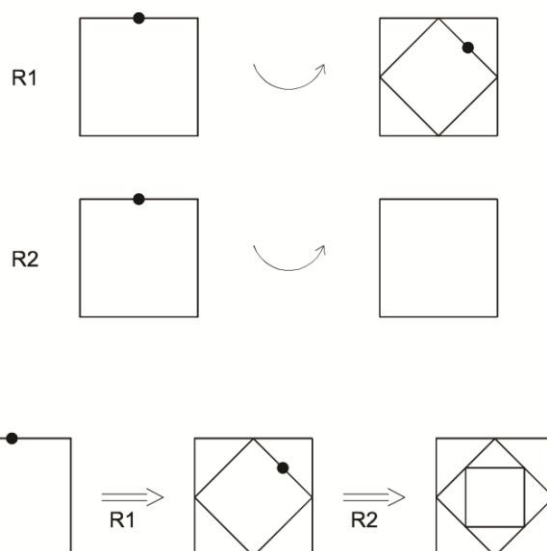


Fig. 121 – Exemplo de uma gramática simples com uma regra de termino (R2).
Geração de uma forma mediante o uso da gramática. A aplicação da regra R2, finaliza o processo de geração da forma, pois não é possível encontrar nenhuma configuração geométrica igual ao lado A das regras na composição gerada.

O número de vezes que uma regra é utilizada na geração de uma forma, tem influência direta na configuração da mesma. Portanto, as gramáticas da forma é uma ferramenta que fomenta a geração de forma pela diversidade, ou seja, proporciona diversidade de soluções para um determinado padrão geométrico (fig. 122).

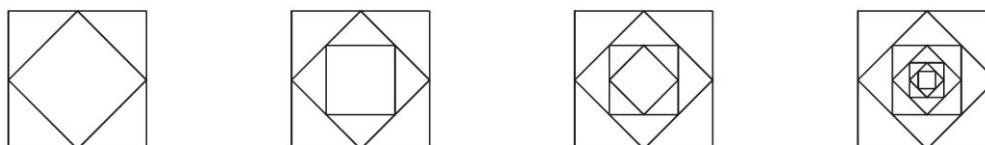


Fig. 122 - Exemplos da diversidade de formas geradas com a gramática da fig. 121.

A utilização das regras pode ser aleatória e não existe a necessidade de se usar todas as regras da gramática. Portanto, face ao exemplo exposto na fig. 121, a geração de uma forma pode ser dada como concluída, sem a utilização da regra R1 (fig. 123).

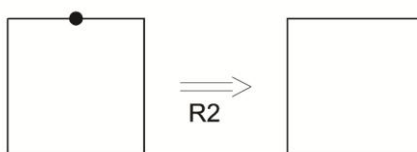


Fig. 123 – Exemplo de geração de uma forma sem usar a totalidade das regras.

_ Gramáticas da forma paramétricas

As gramáticas da forma paramétricas são uma espécie de extensão das gramáticas da forma, em que as regras são definidas por formas esquemáticas. Enquanto as gramáticas da forma identificam e transformam configurações geométricas de proporção aritmética ou geométrica precisa, as gramáticas paramétricas, identificam e transformam referências geométricas predefinidas. Portanto, para que possam ser utilizados como regras, estas devem ser parametrizados (fig. 124). Apenas quando são atribuídos valores a todas as variáveis que definem as formas, é que a regra fica definida para ser usada para operar a transformação. A mesma regra pode ser posteriormente usada com outros valores e para outras formas. A operacionalidade das gramáticas da forma paramétricas é idêntica à das gramáticas da forma (fig. 125 e 126).

A possibilidade de cada regra gerar múltiplas formas, mediante os valores que são atribuídos às suas incógnitas referenciais, permite potenciar ainda mais a diversidade de formas geradas com as mesmas regras (fig. 127).

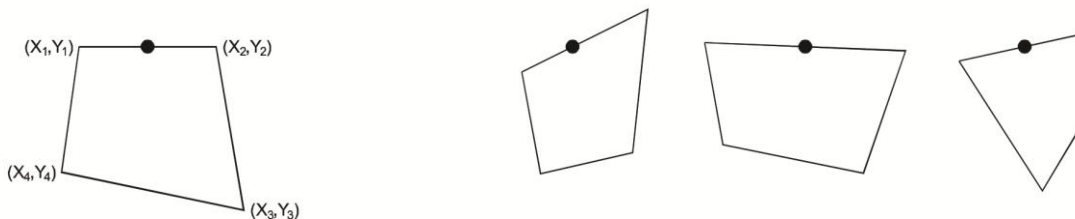


Fig. 124 – Exemplo de uma forma esquemática paramétrica (esq.).
Alguns exemplos de formas que o esquema paramétrico pode estar a representar (dir.).

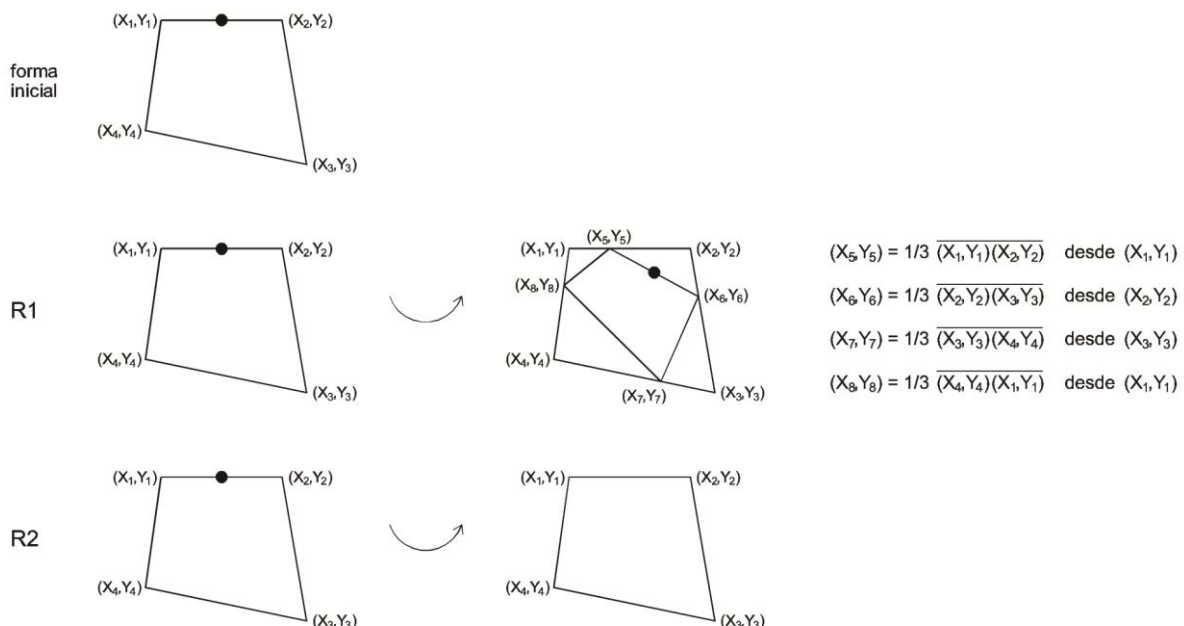


Fig. 125 – Exemplo de uma gramática da forma paramétrica _ forma inicial e regras.

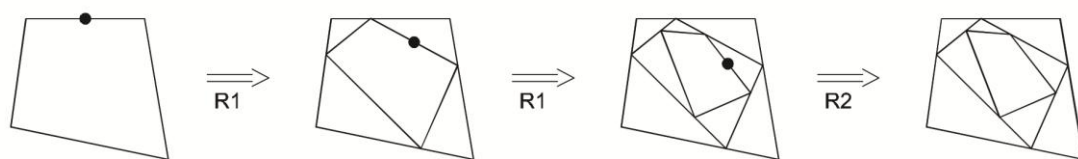


Fig. 126 – Geração de uma forma usando a gramática da forma da fig. 125.



Fig. 127 - Exemplos da diversidade de formas geradas com a gramática da fig. 125.

Aplicação das gramáticas da forma na arquitetura

As gramáticas da forma apresentam-se na arquitetura, como uma ferramenta de desenho que visa em potenciar a criação de novas soluções. Mas não só. A sua utilidade, também pode ser direcionada para uma vertente mais histórica e académica, podendo estas ser utilizadas em termos educacionais, na compreensão de um estilo em particular.

Independentemente da sua orientação prática, todas elas partem de um mesmo pressuposto, a análise a um padrão geométrico específico. O objetivo passa por identificar as características geométricas que caracterizam determinado padrão morfológico e transferi-las para regras descritas em termos geométricos e algébricos. Tendo o corpus gramatical definido, desponta a capacidade generativa da gramática na experimentação de diversas novas soluções dentro desse universo.

As gramáticas da forma caracterizam-se todas elas, pela sua operacionalidade analítica e generativa. A sua diferenciação assenta sempre na base analítica, dependendo do seu “corpus” ser um referencial histórico, contemporâneo ou experimental. Este fato é possível de observar nos exemplos que se seguem: a gramática do Bairro da Malagueira de Siza Vieira (fig. 128), desenvolvida por José Pinto Duarte (2004) e a gramática de Palladio (fig. 129), desenvolvida por George Stiny (1978). A primeira, tenta identificar o padrão tipológico de um projeto em particular, para com ele gerar outras configurações tipológicas. A segunda, procura identificar o padrão geométrico inerente ao estilo arquitetónico de Andrea Palladio, com o intuito de gerar novas configurações arquitetónicas nesse mesmo estilo.

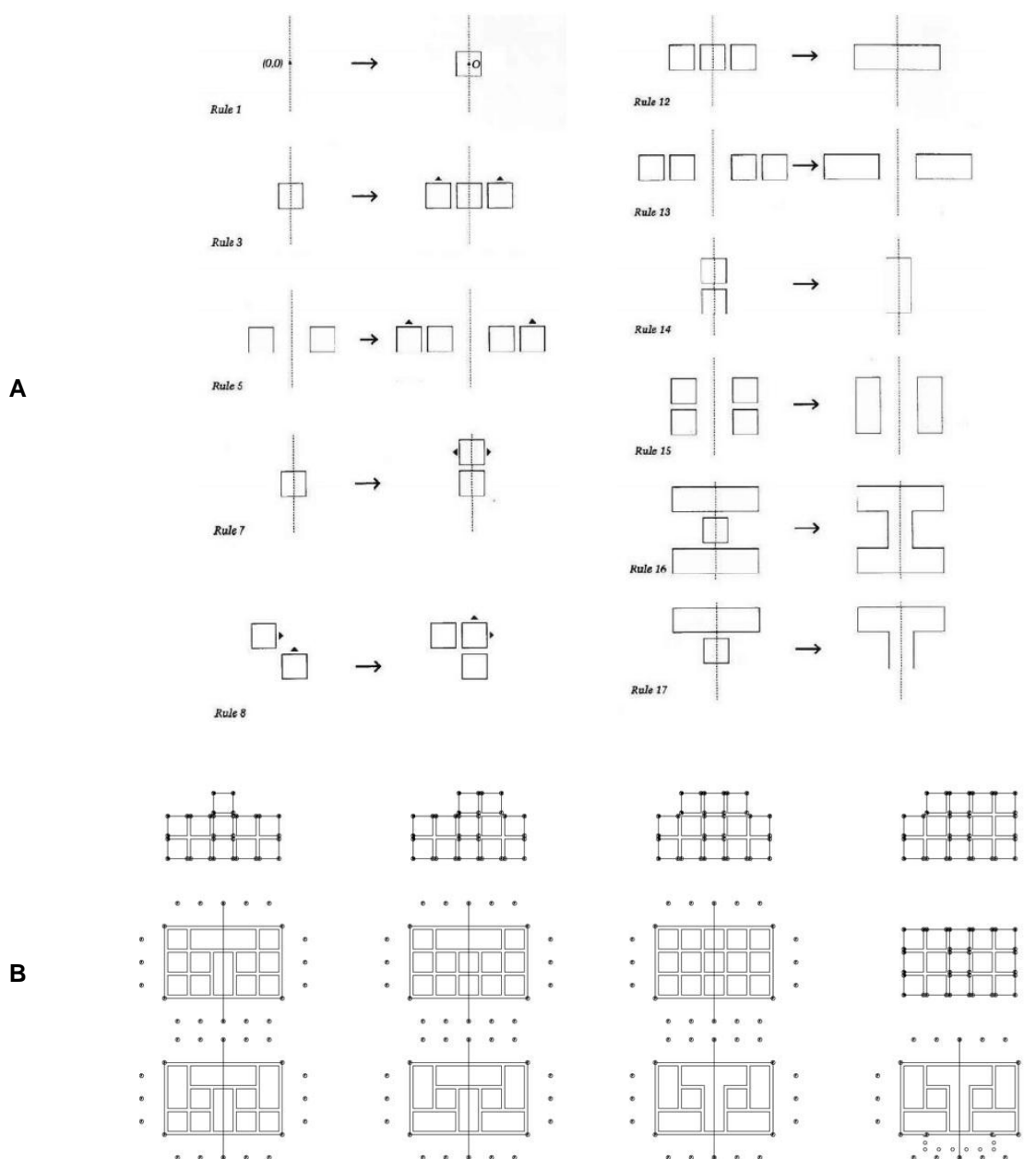


Fig. 129 – Gramática de Paladio
 A – Exemplo de algumas das regras da gramática Paladiana
 B - Aplicação das regras. Geração de uma planta Paladiana.

2.4.3 CONCLUSÃO

O recurso a estes dois processos de desenho generativo visa o objetivo de conseguir gerar por via geométrica, um processo de implementação de uma identidade específica às formas, mais concretamente a identidade morfológica das estruturas vivas. O diagrama de Voronoi é um processo de fragmentação de espaço, cujas malhas geradas denotam diversas

características morfológicas dessas estruturas. Portanto, é um processo generativo, que tem a particularidade de apresentar uma identidade geométrica. Contudo, não possui, um sistema operativo de geração concreta de forma, tal como detêm as estruturas vivas. As gramáticas da forma, por sua vez, não denotam uma identidade geométrica em particular. Contudo, é uma ferramenta que descodifica padrões geométricos, para com eles gerar novas possibilidades formais para uma determinada identidade geométrica. Portanto, é uma ferramenta geradora de soluções formais, mediante um conjunto de regras preestabelecidas.

Face às particulares características de cada uma destas ferramentas de desenho para o propósito da investigação, é intenção desta, proceder à sua união numa só ferramenta. Sendo a gramática da forma uma ferramenta geradora de identidade, a união deve ser feita pela transposição do padrão geométrico dos diagramas Voronoi para a linguagem das gramáticas da forma. Deste modo, a sua identidade, poderá ser aplicada na geração de formas com propósito predefinido.

CAPÍTULO 3 - A GEOMETRIA DE UM PADRÃO ECOLÓGICO

_ CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS _

Este capítulo, tem como principal objetivo, a definição de um conjunto de características geométricas associadas à identidade morfológica das estruturas vivas. Este processo de seleção e caracterização, é dividido em duas partes. A primeira, onde são definidos as características geométricas a englobar no processo de desenho. A sua definição e vinculação são feitas de acordo com as etapas que caracterizam o processo de crescimento das estruturas vivas. Na segunda parte, é realizada uma caracterização das mesmas, por descrição das qualidades geométricas inerentes a cada uma delas e por exemplificação da sua presença em estruturas vivas e humanas.

3.1. DEFINIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE UM PADRÃO ECOLÓGICO MEDIANTE A ANÁLISE BIBLIOGRÁFICA

Como referido no final do capítulo anterior, a base sobre a qual será delineado um conjunto de características geométricas a transferir para o processo de desenho, está referenciado no conjunto de características delineadas por Alexander. Contudo, não será realizada uma adoção direta das mesmas pelo processo de desenho a gerar. As razões são várias. Primeiro, Alexander define um conjunto de características geométricas associadas aos mecanismos de crescimento, mas não estabelece uma relação da sua operacionalidade nesse processo. Estas são caracterizadas individualmente e é apenas referido que a sua emergência requer vinculação ao processo que as origina, o crescimento. Segundo, Alexander demonstra a existência de interconetividade entre características, tal como exemplificado na fig. 130. Este quadro estabelece relações, mas não demonstra que muitas destas características existem, ou como resultado, ou como efeito natural de outras (fig. 131). Portanto, não parece correto, no ponto de vista da investigação em curso, que as mesmas sejam abordadas de um modo individualizado. A terceira e última razão, prende-se com o facto de as características poderem ser enriquecidas com o conhecimento dos outros autores referenciados.

		PROPERTY B														
		LEVELS OF SCALE	STRONG CENTERS	BOUNDARIES	ALTERNATING REPETITION	POSITIVE SPACE	GOOD SHAPE	LOCAL SYMMETRIES	DEEP INTERLOCK AND AMBIGUITY	CONTRAST	GRADIENTS	ROUGHNESS	ECHOES	THE VOID	SIMPLICITY AND INNER CALM	NOT SEPARATENESS
PROPERTY A	LEVELS OF SCALE		*	*			*			*						
	STRONG CENTERS				*			*		*	*			*		*
	BOUNDARIES		*		*			*	*	*	*					
	ALTERNATING REPETITION		*			*	*	*	*	*						*
	POSITIVE SPACE	*	*	*			*	*	*	*	*			*		
	GOOD SHAPE	*	*			*	*	*		*	*		*		*	
	LOCAL SYMMETRIES	*				*			*		*			*		
	DEEP INTERLOCK AND AMBIGUITY				*	*			*		*	*	*			*
	CONTRAST			*		*		*		*	*			*		*
	GRADIENTS	*	*				*		*		*	*	*			*
	ROUGHNESS		*			*	*				*	*			*	*
	ECHOES	*				*	*				*	*				*
	THE VOID	*		*		*	*		*	*					*	
	SIMPLICITY AND INNER CALM						*	*				*	*		*	*
	NOT SEPARATENESS			*		*			*		*	*		*	*	

Fig. 130 – Interação entre as quinze propriedades geométricas segundo Alexander.

NÍVEIS DE ESCALA	→ REQUER REPETIÇÃO ALTERNADA, GERA ECOS E GRADIENTES
CENTRO FORTE	→ REQUER REPETIÇÃO ALTERNADA + GRADIENTES + ECOS
LIMITES	→ REQUER REPETIÇÃO CENTRO FORTE + REPETIÇÃO ALTERNADA
REPETIÇÃO ALTERNADA	→ REQUER ESPAÇO POSITIVO + SIMPLICIDADE + SIMETRIAS LOCAIS, GERA RUGOSIDADE
ESPAÇO POSITIVO	→ REQUER ECOS, GERA SIMPLICIDADE E CALMA INTERIOR
BOA FORMA	→ REQUER NÍVEIS DE ESCALA + CENTRO FORTE + ESPAÇO POSITIVO + SIMETRIAS LOCAIS + SEM SEPARAÇÃO + SIMPLICIDADE
SIMETRIAS LOCAIS	→ REQUER REPETIÇÃO ALTERNADA + ECOS
AMBIGUIDADE	→ REQUER REPETIÇÃO ALTERNADA + SIMETRIAS LOCAIS + ECOS + GRADIENTES, GERA SEM SEPARAÇÃO
CONTRASTE	→ REQUER REPETIÇÃO ALTERNADA
GRADIENTES	→ É UM EFEITO DOS NÍVEIS DE ESCALA
RUGOSIDADE	→ É UM EFEITO DA REPETIÇÃO ALTERNADA + SIMPLICIDADE + CONTRASTE + SIMETRIAS LOCAIS
ECOS	→ É UM EFEITO DOS NÍVEIS DE ESCALA
O VAZIO	→ É UM TIPO DE CONTRASTE
SIMPLICIDADE E CALMA INTERIOR	→ REQUER ESPAÇO POSITIVO
SEM SEPARAÇÃO	→ É UM EFEITO DA AMBIGUIDADE E CALMA INTERIOR

Fig. 131 – As dependências e os efeitos das características geométricas de Alexander retiradas das análises efetuadas a 4 casos de estudos (ver anexo 1).

Esta investigação propõe-se a interpretar as características geométricas de Alexander, bem como os contributos às mesmas por parte dos outros autores, pelo conjunto de qualidades que cada uma delas exige no seu todo e pela função que desempenha no processo de crescimento. Portanto, parece lógico tentar perceber antes que tudo, como se pode caracterizar este processo, para depois associar, a cada um dos seus requisitos, as características geométricas que o podem definir.

O processo de crescimento das estruturas vivas, pode ser caracterizado como sendo uma qualidade que começa sempre por algo, que se expande e que nunca deixa de ser parte integrante da envolvente que a alberga (fig. 132). Portanto, é um processo que contempla pelo menos, três parâmetros indissociáveis: origem, expansão e ligação.

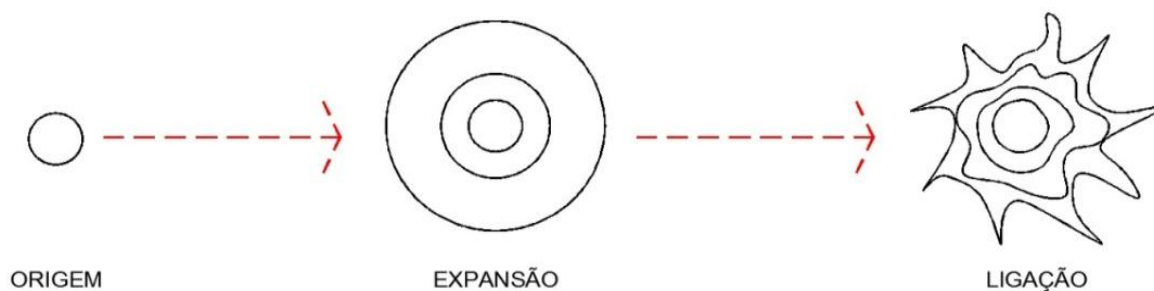


Fig. 132 – Três qualidades estruturais do processo de crescimento.

Que características geométricas poderão ser associadas a cada uma dessas qualidades? A origem, independentemente da configuração geométrica que detenha, é sempre a fonte de toda a informação que irá dar corpo à estrutura. Ela definirá o caráter morfológico da estrutura, bem como as relações necessárias a existir entre elementos em favor da coesão estrutural. Portanto, as características geométricas associadas à origem, contemplam a definição de um vocabulário geométrico e a definição de relações de proporção. Estas serão abordadas sob a temática de Alometria. A expansão, por sua vez, incide no modo como se processa a reprodução da origem e no modo coeso como essa reprodução se propaga no espaço. Requer como características geométricas, a repetição e o centro. Estas serão abordadas sob a temática de expansão estrutural. Quanto à ligação, esta incide no modo como as estruturas trabalham o encaixe na envolvente, com o intuito de se tornarem partes integrantes da mesma. Portanto, a característica geométrica associada à ligação, é a união e é abordada sob a temática da integração espacial (fig. 133).

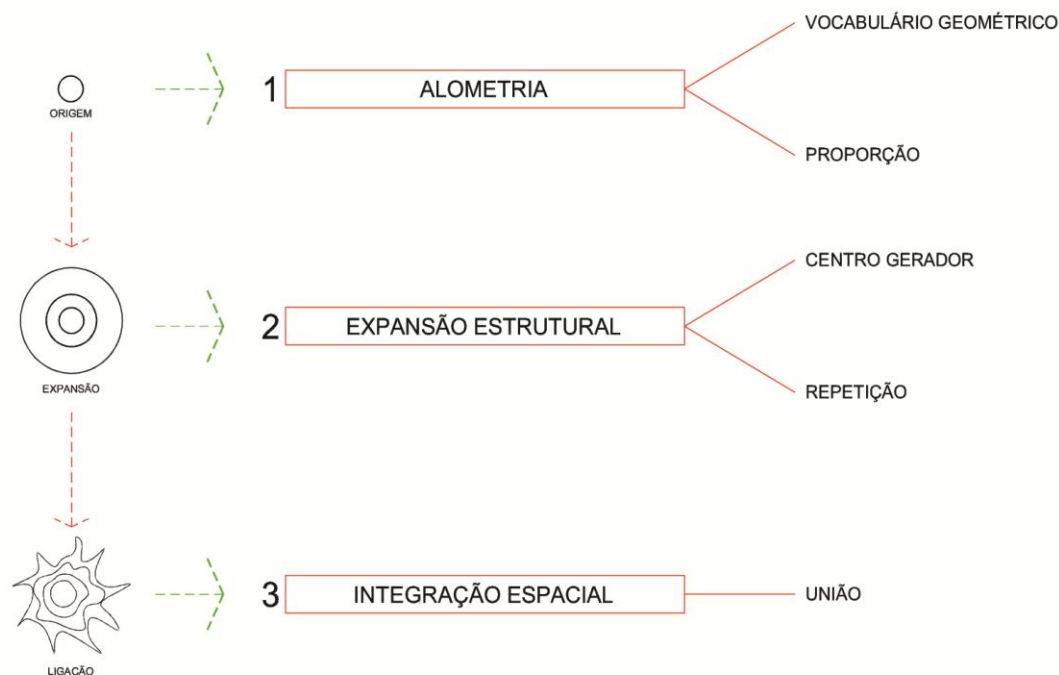


Fig. 133 – As temáticas sobre as quais serão interpretadas as três qualidades estruturais do processo de crescimento e respectivas características associadas.

Assim sendo, a caracterização das três qualidades estruturais do processo de crescimento, contempla cinco características geométricas distintas: vocabulário geométrico, variações proporcionais, repetição, centro gerador e união. Definidas as características, há que identificar que qualidades geométricas definidas por Alexander e restantes autores irão propiciar a sua existência.

Desta ação, obteve-se o seguinte resultado: dentro da fase do processo de crescimento referente à alometria, o vocabulário geométrico vai incidir o seu conteúdo na clarificação dos elementos que caracterizam a morfologia das estruturas vivas. Quanto à proporção, esta irá incidir o seu conteúdo temático nas variações de proporção existentes entre os elementos estruturais e a própria proporção das estruturas vivas (fig. 134). Na fase do processo de crescimento referente à expansão estrutural, a característica do centro gerador vai incidir a sua temática nas referências de organização espacial, ou seja, centro e níveis de expansão. Já a característica da repetição, centra-se nas exclusivas qualidades geométricas e espaciais dos elementos estruturais (fig. 135). Por fim a união, irá incidir a sua ação, sobre o tipo de ligações entre estruturas vivas e envolvente (fig. 136).

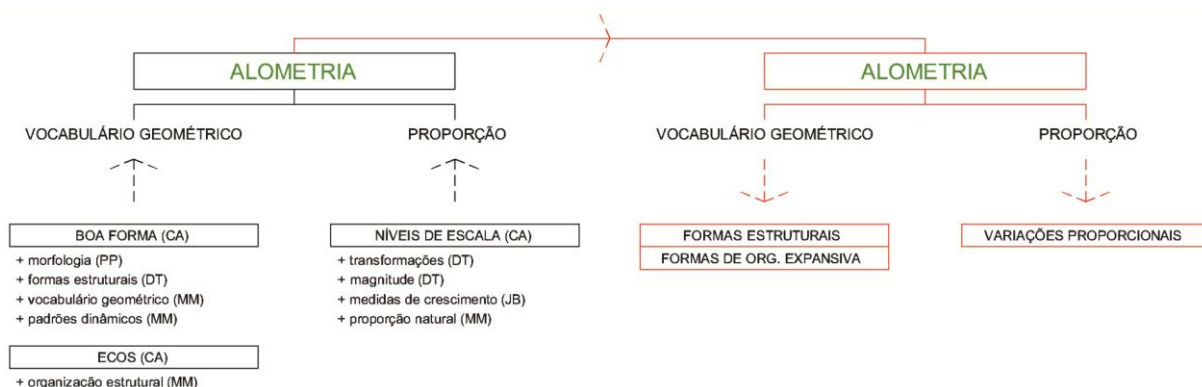


Fig. 134 – Identificação dos contributos geométricos dos autores às temáticas da alometria (esq.) e respetiva simplificação de conteúdos (dir.).

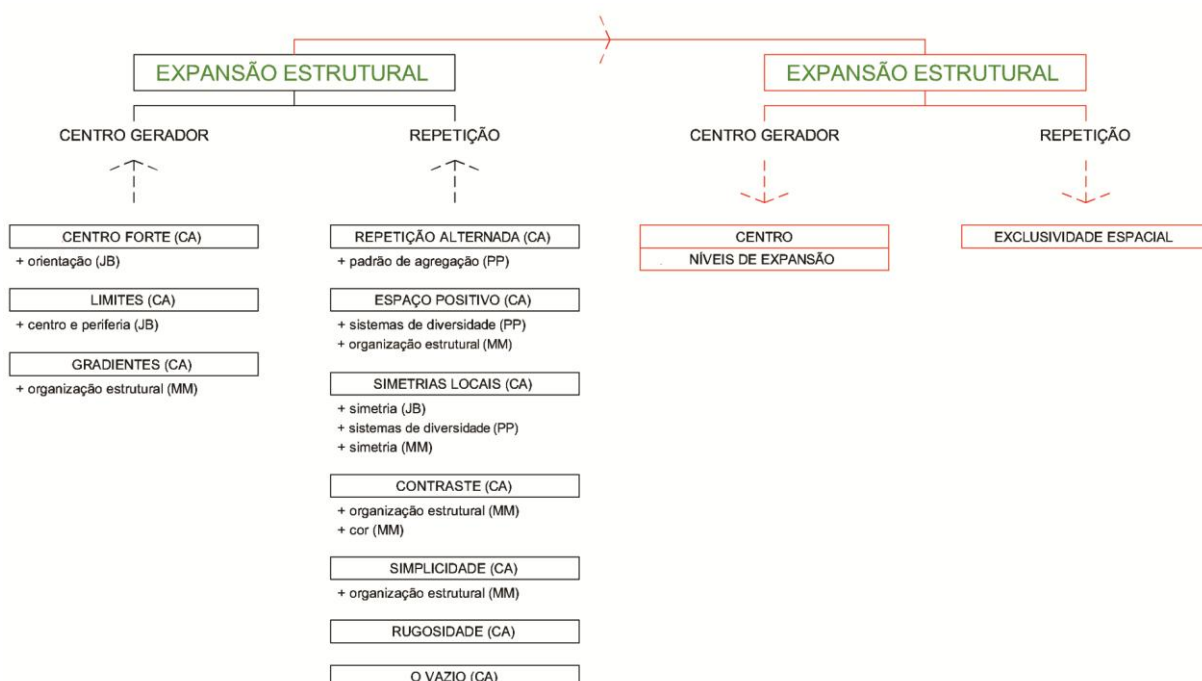


Fig. 135 – Identificação dos contributos geométricos dos autores às temáticas da expansão estrutural (esq.) e respetiva simplificação de conteúdos (dir.).

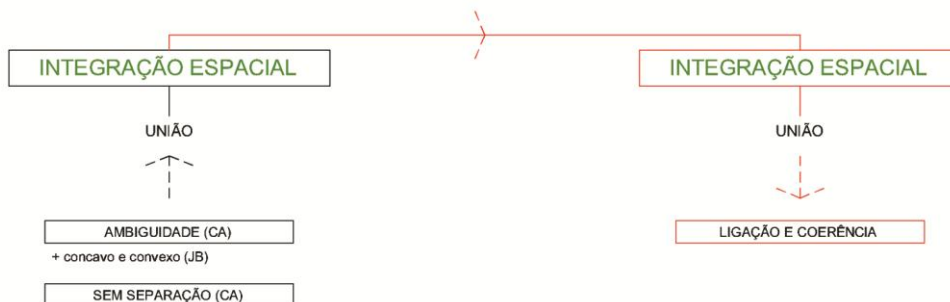


Fig. 136 – Identificação dos contributos geométricos dos autores às temáticas da integração espacial (esq.) e respetiva simplificação de conteúdos (dir.).

Nota: Siglas abreviadas dos autores: (CA) Christopher Alexander; (PP) Peter Pearce; (DT) D'arcy Thompson; (MM) Maggie Macnab; (JB) – John Blackwood.

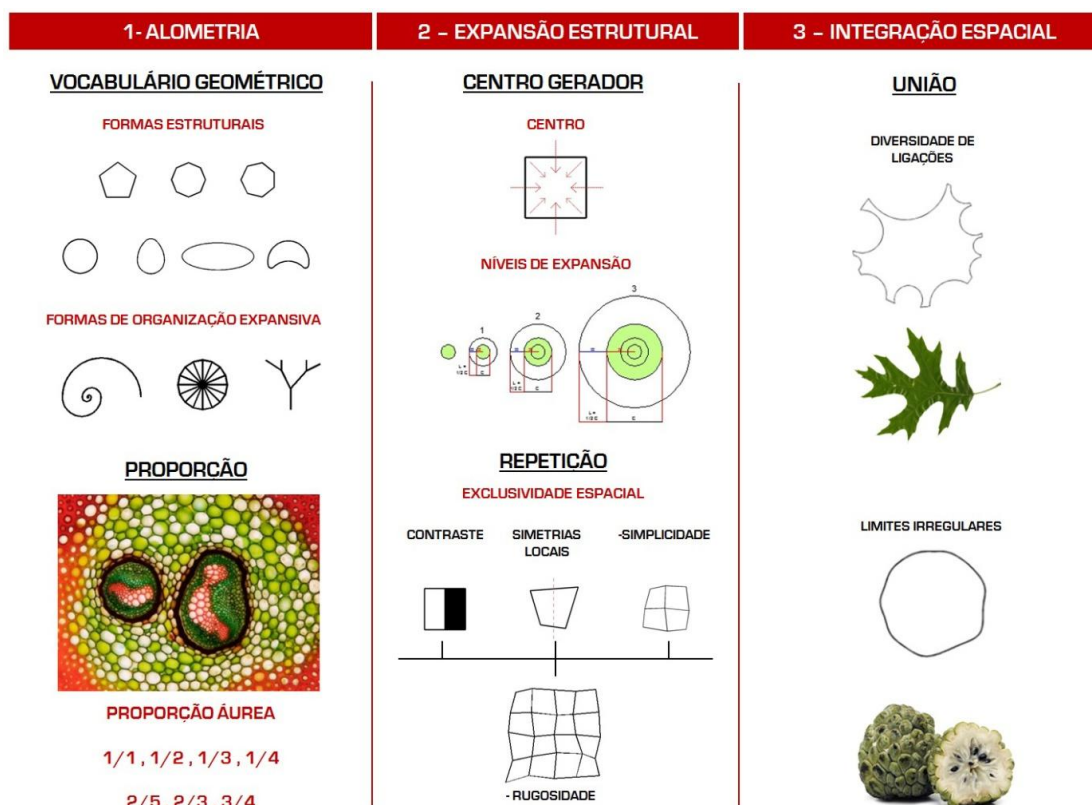


Fig. 137 – Resumo final dos três requisitos estruturais do fenómeno de crescimento e respetivas características geométricas.

3.2 INTERPRETAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS A APLICAR NO PROCESSO DE DESENHO

Esta fase da investigação destina-se à caracterização das características identificadas. A sua descrição, pretende demonstrar com que tipo de soluções geométricas estas se manifestam nas estruturas vivas, mas não só. Sendo intuito desta investigação, a geração de estruturas arquitetónicas com estas características, é efetuado em simultâneo, a comprovação da existência das mesmas em soluções de carácter arquitetónico. O objetivo dessas analogias é demonstrar que tipo de alterações, em termos de soluções geométricas, o processo de desenho humano deve incluir, para favorecer a presença das mesmas, em simultâneo, nos objetos arquitetónicos.

3.2.1 ALOMETRIA

As estruturas vivas, expandem-se mediante o acréscimo de elementos gerados a partir de outros que já contêm. Contudo, este acréscimo não é aleatório. Estes seguem uma ordem cognitiva de distribuição proporcional, que lhes permite estar em constante transformação, sem pôr em risco a coesão do todo que geram. Portanto, o crescimento físico de uma estrutura viva,

é um misto de elementos e relações proporcionais entre os mesmos e destes com o todo. No entanto, a singularidade desta relação, reside no facto de esta se iniciar apenas num elemento, que não sendo idêntico em todas as estruturas, partilham qualidades comuns. Assim sendo, a geração de estruturas vivas recorre desde o seu início, a um específico vocabulário geométrico e a um controlo proporcional dos efeitos reprodutivos e expansivos.

3.2.1.1 Vocabulário geométrico

A composição geométrica das estruturas vivas, por mais complexas que sejam, resultam sempre da combinação de formas simples e elementares (fig. 138). É a partir da articulação dos mesmos e sob ordens de uma entidade cognitiva, que as estruturas vivas geram as suas formas orgânicas.

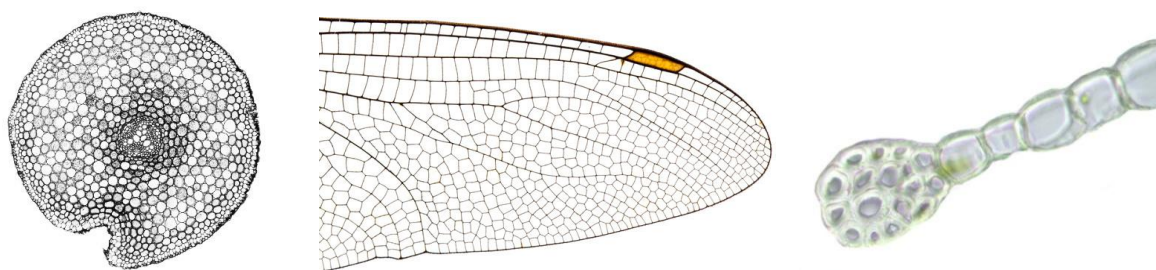


Fig. 138 – Exemplos de articulação de formas elementares nas estruturas vivas.

Como é feita esta articulação geométrica? As estruturas vivas têm sempre uma origem, ou seja, advêm sempre de uma forma inicial. É a partir dessa forma que se inicia a expansão estrutural, mediante um processo de reprodução. A forma inicial gera uma nova a partir de si própria, transmitindo-lhe as características morfológicas que detém, mas sem nunca gerar uma réplica exata de si mesma (fig. 139). Embora o processo de reprodução seja feito por adjacência, as características morfológicas da forma inicial estarão sempre presentes em todas as formas que compõem a estrutura. Portanto, a configuração da forma inicial, definirá sempre o carácter morfológico das estruturas, independentemente da composição estrutural que estas possam gerar.

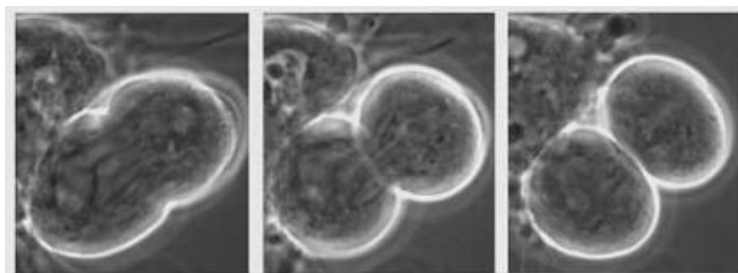


Fig. 139 – Reprodução celular. Transferência das características morfológicas entre células.

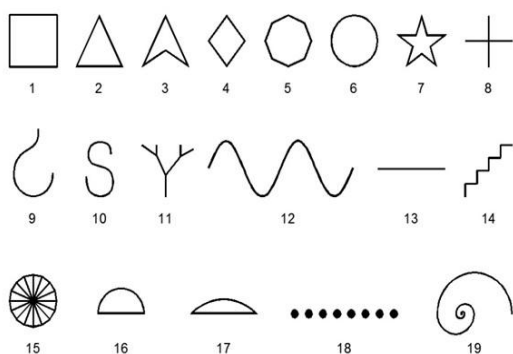
Que tipo de formas utilizam as estruturas vivas na sua origem? Terão estas algum tipo de qualidade geométrica comum? Poder-se-á identificar um vocabulário geométrico?

A determinação de um vocabulário geométrico para as estruturas vivas, não é algo que se encontre estipulado. O mais comum é a abordagem desta temática pela determinação de formas do padrão geométrico das mesmas. Nesta perspetiva, existem diferentes tipos de abordagens, no qual se podem evidenciar pelo menos três bastante distintas. Alexander (2001), por observação direta das estruturas vivas, identifica uma série de formas, que define como sendo as de maior predominância nas mesmas (fig. 140). Já Arrien (1998), pela observação de símbolos geométricos representativos da natureza nas artes humanas ao longo das civilizações, apresenta uma seleção mais restrita (fig. 140). Por fim Knott (2013), recorrendo à regra matemática pelo qual se rege o universo (ϕ), enumera uma série de formas elementares com a proporção áurea (fig. 140).

Independentemente do método, é possível de observar a repetição de algumas delas. Outra particularidade é o facto de o leque de formas identificado por Alexander incluir todas as outras. Contudo, independentemente das suas particularidades e semelhanças, será a partir destas hipóteses, que se irá tentar decifrar um possível vocabulário geométrico das estruturas vivas.

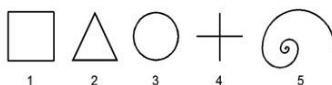
CHRISTOPHER ALEXANDER

formas elementares mais frequentes nas existências vivas



ANGELES ARRIEN

formas predominantes na representação da natureza



RON KNOTT

formas elementares da regra de ouro

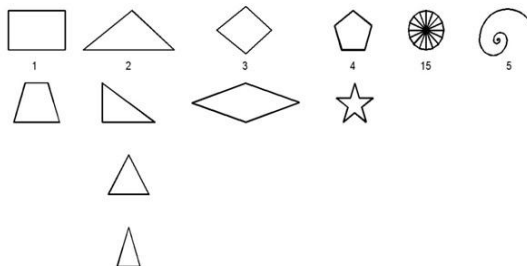


Fig. 140 – Vocabulário geométrico das estruturas vivas.

1) As formas elementares mais frequentes nas existências vivas segundo Christopher Alexander (The nature of order, Book I). 1 – Quadrado; 2 – Triângulo; 3 – Seta; 4 – Losango/Diamante; 5 – Octógono; 6 – Círculo; 7 – Estrela; 8 – Cruz; 9 – Gancho; 10 – Forma em “S”; 11 – Ramificação; 12 – Ondas; 13 – Linha; 14 – Degraus; 15 – Roseta; 16 – Meio círculo; 17 – Segmento; 18 – Alinhamento de pontos; 19 – Espiral.

2) As formas elementares predominantes na representação gráfica da natureza segundo Angeles Arrien (Signs of life). 1 – Quadrado; 2 – Triângulo; 3 – Círculo; 4 – Cruz; 5 – Espiral.

3) As formas elementares da regra de ouro segundo Ron Knott (Two-dimensional geometry and the golden section or fascinating flat facts about Phi). 1 – Retângulo / trapézio; 2 – Triângulos; 3 – Losangos; 4 – Pentágono / Pentagrama; 5 – Roseta; 6 – Espiral.

Para conseguir definir um vocabulário geométrico a partir deste conjunto de formas, as mesmas devem deixar de ser interpretadas pela sua designação individual, para passar a ser

interpretadas e agrupadas a partir de um conjunto de qualidades geométricas. Contudo, para que esta “arrumação” contemple todas as formas do conjunto, esta deve ser feita a partir de uma lógica de opostos de uma determinada qualidade geométrica. A primeira divisão que se propõe, passa pela qualidade do perímetro das formas. Ou se está perante formas fechadas, cujo perímetro gera formas com espaço interior próprio, ou se está perante formas abertas, cujo perímetro tem claramente definido um princípio e um fim (fig. 141).

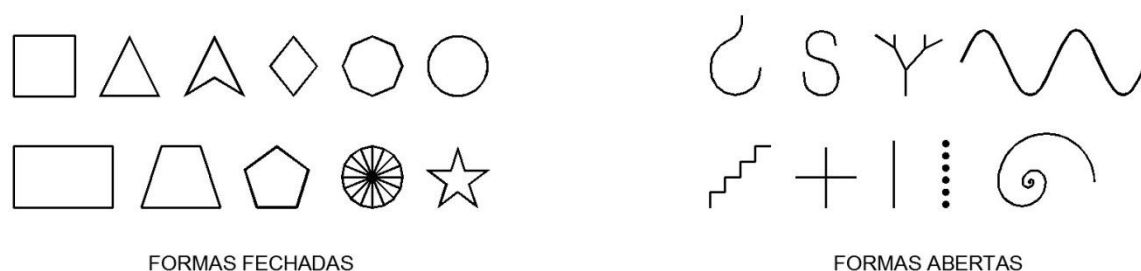


Fig. 141 – Primeira comparação / seleção – Formas fechadas e formas abertas

Esta primeira divisão, revelou uma outra particularidade geométrica, o equilíbrio estrutural. As formas fechadas, transmitem a sensação de serem todas elas uma composição geométrica em equilíbrio, enquanto a grande maioria das formas abertas não. Segundo Arnheim (1982), uma forma em equilíbrio é uma estrutura dinâmica que é encaminhada para uma pausa, ou seja, para um centro. Todas as formas fechadas denotam esta particularidade, pois detêm um centro geométrico para o qual o olhar é direcionado. Mesmo que este não seja marcado, o perímetro das mesmas origina um campo de forças, que evidencia um determinado ponto interior das mesmas (fig. 142). Já no que se refere às formas abertas, apenas duas delas detêm equilíbrio estrutural, a espiral e a ramificação. Ambas direcionam o olhar para um centro, através de um jogo de gradação progressivo. Portanto, são formas que têm, segundo Arnheim (1982), um centro dinâmico. A ausência de gradação nas restantes torna a composição geométrica estagnada. Este facto traduz-se em desequilíbrio estrutural, pois a composição não demonstra existir para um objetivo comum, ou seja, não se direciona para um ponto em pausa (fig. 143 e 144).

Segundo Capra (2003), todas as estruturas vivas são constituídos por elementos ligados em rede, com o intuito de atingir uma organização equilibrada. Portanto, as formas abertas com desequilíbrio estrutural, não devem ser incluídas no leque de opções que possam vir a construir o vocabulário geométrico das estruturas vivas (fig. 145).

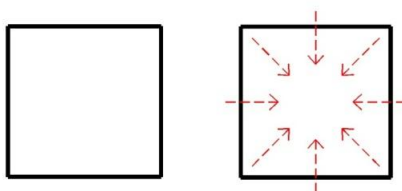


Fig. 142 – Centro geométrico

As formas regulares não necessitam que o centro seja marcado. Este é intuitivamente perceptível (centro geométrico)

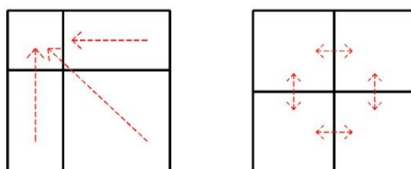


Fig. 143 – Centro dinâmico.

Numa composição em equilíbrio (esq.), todas as partes trabalham para um propósito comum, evidenciar o centro. A cadência de elementos é tão objetiva no seu todo, que não permite que os seus elementos troquem de posição. Já nas estruturas em desequilíbrio, essas trocas são uma possibilidade (dir.).



A

B

Fig. 144 – Centro dinâmico em formas lineares.

Composição estrutural em equilíbrio (A). Centro dinâmico.
Composição estrutural em desequilíbrio (B). Sem centro dinâmico.

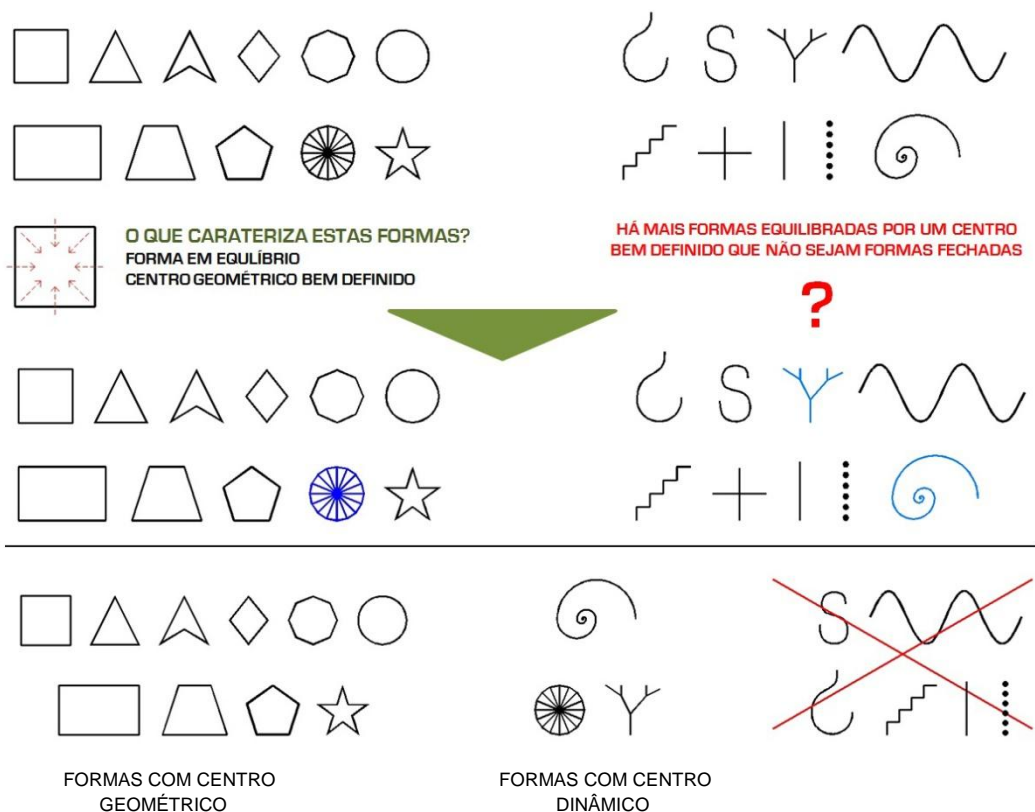


Fig. 145 - Seleção de formas com equilíbrio e desequilíbrio estrutural.
Distinção entre formas em equilíbrio com centro geométrico e com centro dinâmico.

Apesar da seleção definida, outras condicionantes geométricas há, que podem restringir ainda mais o vocabulário geométrico presente nas estruturas vivas. Observe-se o modo particular como as formas triangulares e quadrangulares se manifestam nas mesmas. Em termos geométricos, uma forma quadrangular é constituída por quatro faces e quatro vértices, sendo irrelevante a igualdade das faces. Contudo, nas estruturas vivas, o que se interpreta como uma forma quadrangular, não preenche tal descrição geométrica (fig. 146). O que nelas se conota como quadrangular, na realidade não o é. O seu perímetro detém mais que quatro vértices (fig. 146 – imagem 3). O mesmo sucede com os elementos geométricos de conotação triangular (fig. 147 – imagem 3). O que se pode deduzir? Que os elementos que as compõem não abrangem estas hipóteses geométricas. Portanto, as formas triangulares e quadrangulares não são uma opção recorrente na coesão destas estruturas (fig. 148). Este facto, também é evidenciado por Pearce (1978) e Thompson (1992), quando referem a predominância da forma hexagonal na organização estrutural das mesmas. Apenas devido ao efeito de deformação que as forças naturais exercem sobre as mesmas, estas podem vir a assemelhar-se a formas mais simples, ou mais complexas que o hexágono.

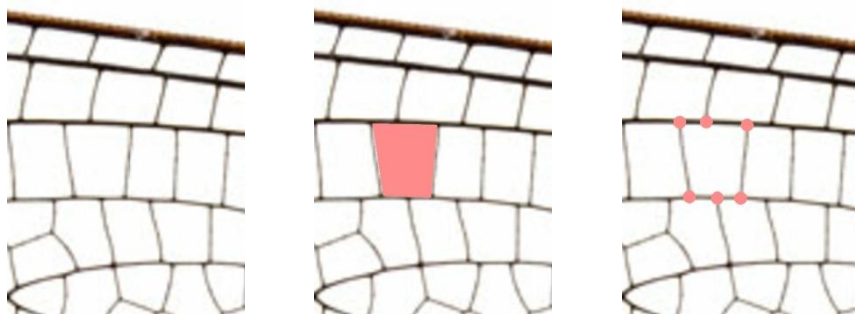


Fig. 146 – Exemplo de forma com errónea conotação quadrangular. Apesar de a sua configuração sugerir ser uma forma quadrangular, a forma é constituída por seis vértices e seis faces.

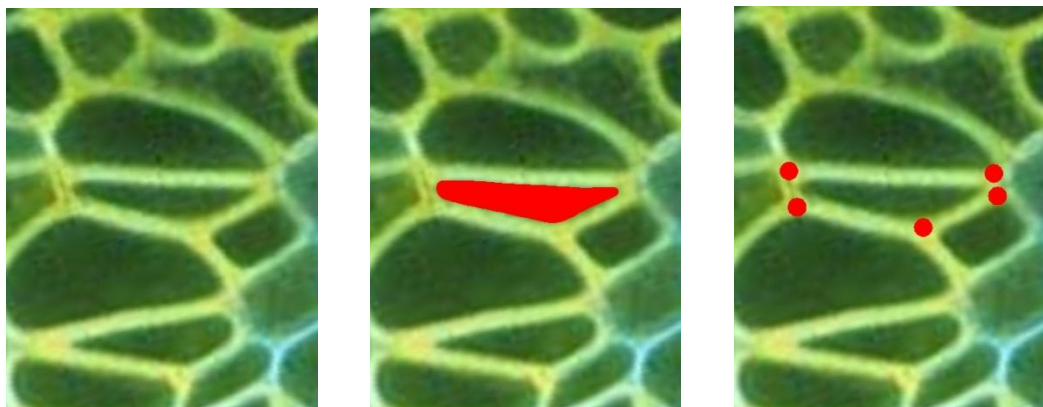


Fig. 147 – Exemplo de forma com errónea conotação triangular. O que aparenta ser um triângulo, é na realidade, uma forma constituída por 5 vértices e 5 faces.

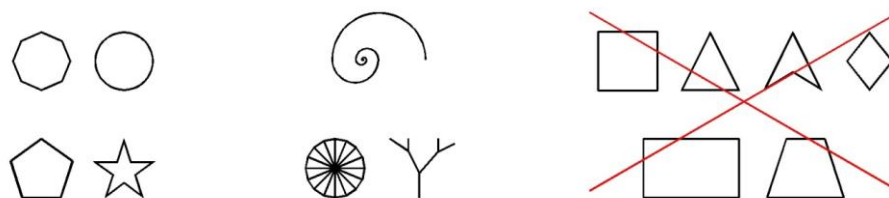


Fig. 148 – Seleção formal com a exclusão das formas triangulares e quadrangulares.

No entanto, a definição do vocabulário geométrico das estruturas vivas, não pode ser ainda dado por concluído. Existe um outro elemento geométrico que predomina nas formas das estruturas vivas, mas não na composição estrutural da forma – o pentagrama (fig. 149). O pentagrama, surge nas estruturas vivas, como uma forma resultante de uma composição de elementos e não como um elemento geométrico que compõe uma estrutura geométrica mais complexa. Portanto, não é correto considerar um pentagrama um elemento geométrico elementar. Um modo simples de comprovar esta afirmação, é tentando circunscrever todos os vértices através de uma superfície cônica, como por exemplo a circunferência (Pearce, 1978; Thompson, 1992). Nos pentagramas, esta união não é possível. Para unir os diversos pontos, seriam necessárias duas circunferências, uma para unir os pontos internos e outra para unir os pontos externos (fig. 150). Este facto, demonstra que se está perante uma forma que resulta de uma composição que requer mais que uma fase de geração, algo que não sucede nas configurações poligonais. Nestes, os vértices são todos eles circunscritos, apenas com uma circunferência. Portanto, não sendo o pentagrama uma forma elementar, logo não deve ser contemplado no vocabulário geométrico das estruturas vivas (fig. 151).



Fig. 149 – Exemplos de estruturas vivas com composição geométrica em pentagrama.



Fig. 150 – Comprovação do pentagrama como forma não elementar. O pentagrama, é uma forma que resulta de pelo menos dois níveis de composição geométrica (esq.), ao invés do pentágono ou do octógono que resultam de apenas um (dir.).



Fig. 151 – Vocabulário geométrico final.
Formas com centro geométrico interno (esquerda). Formas com centro geométrico direcionado (direita).

As qualidades geométricas, que foram sendo introduzidas neste processo de seleção de formas, reduziram o leque de opções a contemplar no vocabulário geométrico em dois grupos. Um conjunto contempla as formas com centro geométrico interno, onde se incluem todos os polígonos convexos com mais de quatro lados e algumas formas cónicas (elipse e circunferência). O outro conjunto contempla as formas com centro geométrico direcionado, como são exemplo a espiral, as estruturas ramificadas e as estruturas em onda. Este resultado será definido como o leque de soluções formais a ser implementado como vocabulário geométrico, no processo de desenho a desenvolver nesta investigação.

Formas estruturais e formas de organização expansiva

Como pode ser encontrado este leque de soluções formais nas estruturas vivas? Os dois grupos, não se revelam em separado. Sempre que existe uma forma com centro geométrico direcionado, existe uma família de formas com centro geométrico interno. As formas com centro interno são as que dão corpo à composição, enquanto as de centro direcionado, orientam a colocação das anteriores. Portanto, as com centro interno são as formas estruturais da composição geométrica e as de centro direcionado, são as formas que organizam a expansão da composição geométrica. Assim sendo, pode-se concluir que as estruturas vivas contêm sempre dois tipos de formas distintos na geração da sua composição geométrica, as formas estruturais e as formas de organização expansiva (fig. 152).

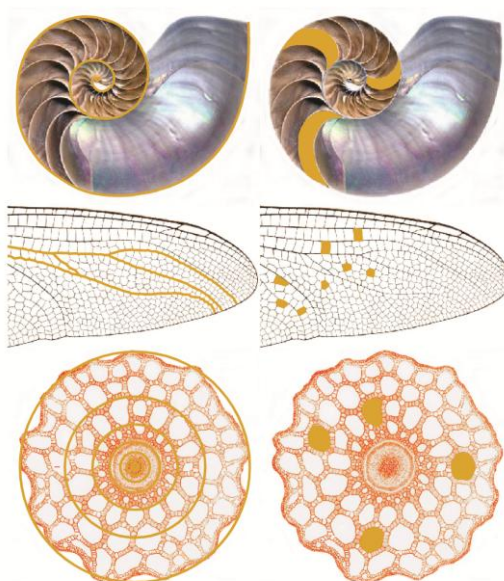


Fig. 152 – Conjugação de formas de organização expansiva (esq.) e formas estruturais (dir.) nas estruturas vivas.

- Formas estruturais

Como já referido, as formas estruturais, são as que preenchem o “corpo” das estruturas vivas. Estas podem ser compostas por algumas formas poligonais (mais de quatro vértices) e por algumas formas cónicas (circunferência e elipse). Apesar de cada uma delas apresentar-se com grande diversidade geométrica nessas composições, os dois tipos de formas estruturais não coexistem na mesma estrutura (fig. 153). A razão é simples. Estas não partilham a mesma família de ângulos. As formas poligonais contêm na sua composição geométrica ângulos retos, agudos e obtusos, enquanto as formas cónicas são compostas por ângulos completos. Nas estruturas compostas por formas da mesma família de ângulos, é possível encadear as formas estruturais recorrendo à sobreposição dos seus limites, dando assim, uma sensação de encaixe. Já as formas de famílias de ângulos distintos, a sobreposição dos limites é meramente pontual. Obtém-se uma composição geométrica, que transmite uma sensação de repulsa contra os seus elementos estruturais (fig. 154). Portanto, a coesão estrutural das composições, está fortemente dependente da partilha de um carácter morfológico, por parte de todas as formas estruturais que constituem a composição geométrica (fig. 155).



Fig. 153 - Exemplos de composições geométricas com formas poligonais (esq.) e com formas cónicas (dir.).

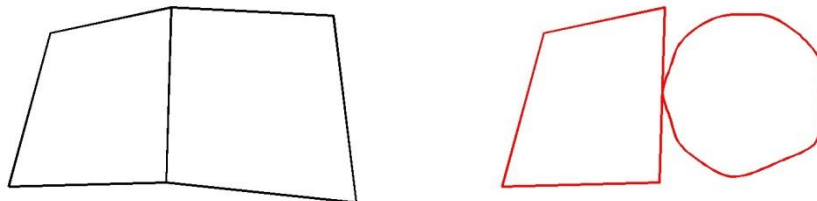


Fig. 154 – Família de ângulos.

As formas que partilham a mesma família de ângulos (esq.) conseguem produzir a sensação de encaixe, enquanto as formas de famílias de ângulos distintas (dir.), evidenciam uma clara incompatibilidade de ligação.

FORMAS ESTRUTURAIS

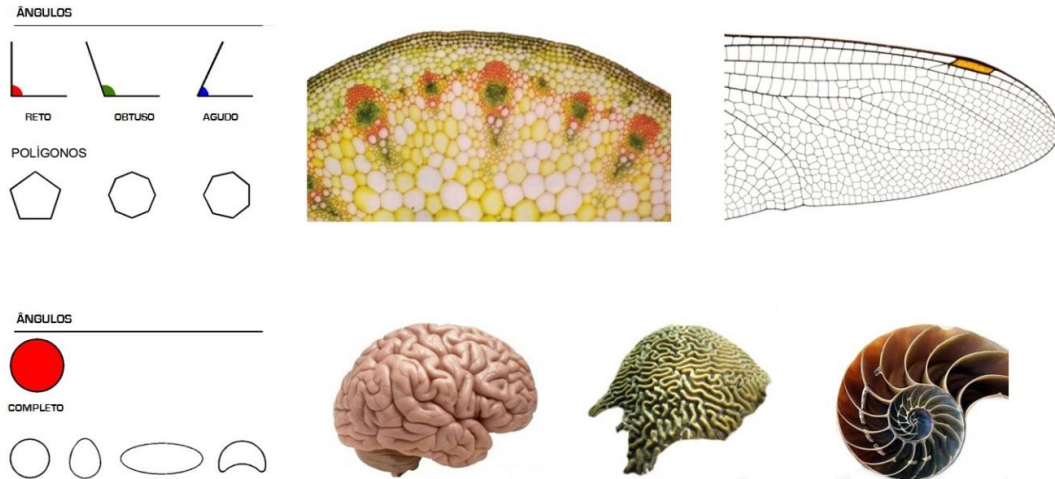


Fig. 155 – Divisão das formas estruturais por caráter morfológico (família de ângulos).

- Formas de organização expansiva

As formas de organização expansiva são as formas orientadoras do crescimento das estruturas vivas e podem manifestar-se nas mesmas, através de pelo menos três padrões geométricos distintos: espiral, onda e ramificação (fig. 156).

Como as formas estruturais não podem ser dispostas aleatoriamente no espaço, a sua propagação requer formas de organização expansiva. Contudo, estes não detêm realmente uma forma própria. Elas impõem uma ordem de organização às formas estruturais, mas é o movimento gerado pela disposição destas, que desponta o aparecimento das mesmas (fig. 157). Portanto, a sua dependência por formas estruturais é tal, que sem estas, não existiriam.

FORMAS DE ORGANIZAÇÃO EXPANSIVA

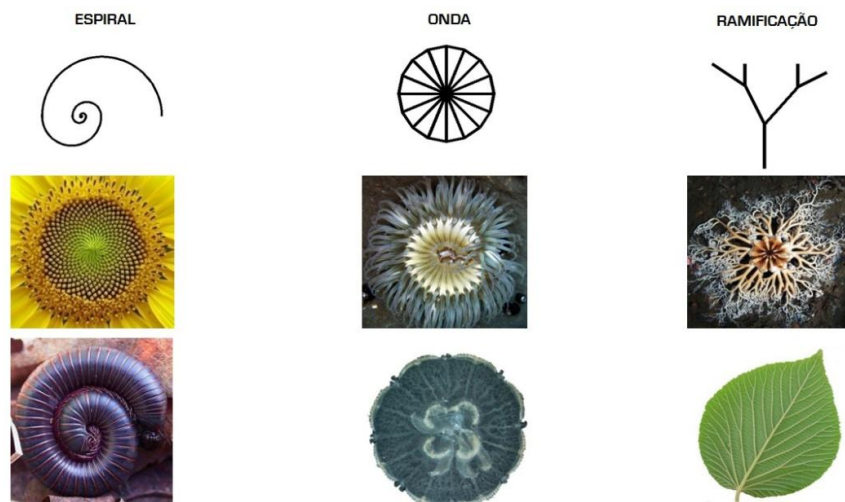


Fig. 156 – Tipos de formas de organização expansiva.

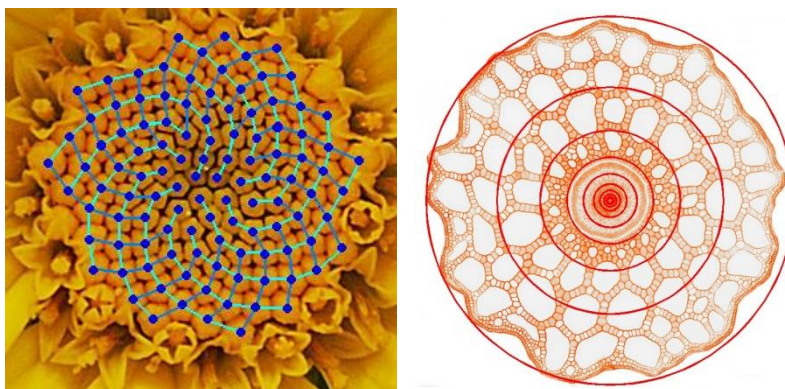


Fig. 157 – As formas de organização expansiva impõem um posicionamento espacial específico nos elementos geométricos que compõem as estruturas vivas.

Vocabulário geométrico das estruturas vivas em estruturas humanas de caráter arquitetônico.

O vocabulário geométrico das estruturas vivas, há muito que é referência na geração de soluções arquitetônicas. Contudo, a sua aplicação está muito associada à procura de dinamismo. Daí que as soluções geométricas adotadas, tenham incidido maioritariamente ao longo da história da arquitetura, na reprodução de formas de organização expansiva (espiral e onda). Também é possível encontrar muitos exemplos arquitetônicos, sobretudo de caráter religioso e militar, com soluções formais poligonares e esféricas. No entanto, estas formas surgem maioritariamente como a solução final da composição e não como estruturantes destas. A prática da arquitetura, muito raramente conciliou no seu processo de conceção, formas estruturais com formas de organização expansiva. É verdade que o processo de desenho humano, recorre a formas elementares para estruturar as suas composições, mas raramente são distribuídas mediante uma intencionalidade expansiva. Por outro lado, quando a composição geométrica adota formas de organização expansiva, as formas estruturais que as revelam (triângulos e quadriláteros), é constituída por polígonos que não fazem parte das principais soluções geométricas das estruturas vivas. Devido à raridade, senão mesmo inexistência, desta prática no processo de desenho arquitetónico, a análise do vocabulário geométrico das estruturas vivas numa perspetiva arquitetónica, será realizada separadamente para as formas estruturais e para as formas de organização expansiva.

- Formas estruturais das estruturas vivas em estruturas humanas de caráter arquitetónico.

As formas estruturais das estruturas vivas, têm emergido nas composições geométricas humanas de caráter arquitetónico, com pelo menos dois tipos de combinações distintos. Um,

combinando elementos estruturais de diferente caráter morfológico e outro, combinando elementos estruturais com o mesmo caráter morfológico.

1 – Combinação de elementos estruturais sem o mesmo caráter morfológico.

A impossibilidade em encaixar formas estruturais, de diferente caráter morfológico, pela sobreposição dos seus limites, faz com que a coexistência destas na mesma composição geométrica se manifeste por invasão. Portanto, as formas são levadas a existir dentro do limite de outras. Este tipo de invasões emergem maioritariamente nas estruturas arquitetónicas por recursos a soluções geométricas por contraste de cheio / vazio (fig. 158).



National Assembly Building in Bagca - Louis Kahn (esq.), Nakagin Capsule Tower - Kurokawa Kisho (centro), Tama Art university Library - Toyo Ito (dir.).

Fig. 158 – Composições geométricas constituídas por formas estruturais com diferentes estruturas morfológicas.

2 – Combinação de elementos estruturais com o mesmo caráter morfológico.

Na maioria das soluções arquitetónicas, os elementos estruturais que as compõem, pertencem à mesma família de ângulos. Contudo, tal facto, não é suficiente para garantir alguma semelhança estrutural com as composições geométricas das estruturas vivas. Na maioria dos casos, a composição geométrica continua a divergir das mesmas, ou pelo tipo de articulação estabelecido entre as formas e/ou pelo tipo de formas usadas. No entanto, outras há, em que a divergência é menor.

Os pontos que se seguem, têm o intuito de demonstrar, que as estruturas vivas requerem um tipo de formas para o seu caráter morfológico, bem como um tipo de articulação para mesmas. Incutir nas estruturas humanas, apenas o vocabulário geométrico das estruturas vivas, não é suficiente.

2.1 – Formas estruturais com disposição aleatória.

Em muitos casos, as formas estruturais do vocabulário geométrico das estruturas vivas, encontram-se aplicadas nas composições arquitetónicas, de um modo muito aleatório e contidos numa outra forma. Apesar de estas partilharem o mesmo caráter morfológico, a existência na

mesma por descontinuidade, confere-lhes um comportamento invasor. Estes não existem na composição como elementos responsáveis à configuração da mesma, mas sim, como elementos independentes (fig. 159).

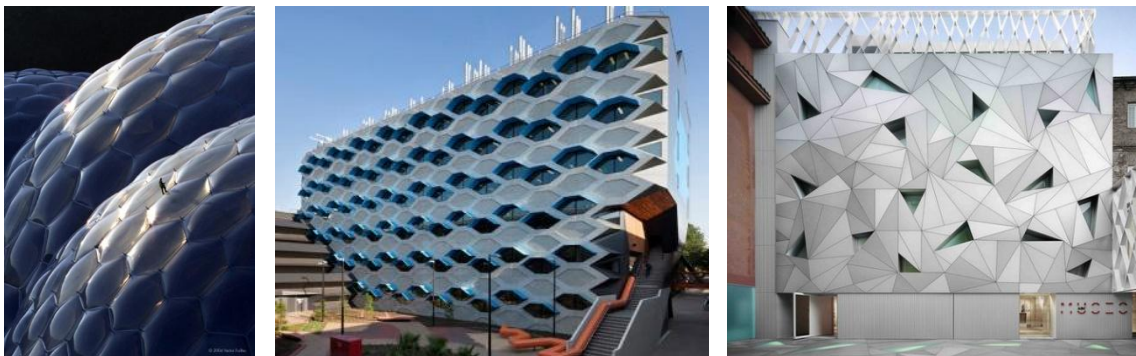


Mikimoto building - Toyo Ito (esq.), Lightmos Thonglor – Architectkidd (dir.).

Fig. 159 – Exemplos de formas estruturais (poligonais e cónicas) que não desempenham funções estruturais na definição da composição geométrica.

2.2 – Formas estruturais regulares dispostas em continuidade.

Outros casos existem, em que as formas estruturais encontram-se dispostas em continuidade nas composições geométricas. Nestes casos, estas já assumem um papel definidor da própria forma, ou seja, estruturam-na. A disposição das mesmas em continuidade, também já revelam a aplicabilidade das mesmas num padrão organizativo mais semelhante ao das estruturas vivas (fig. 160).

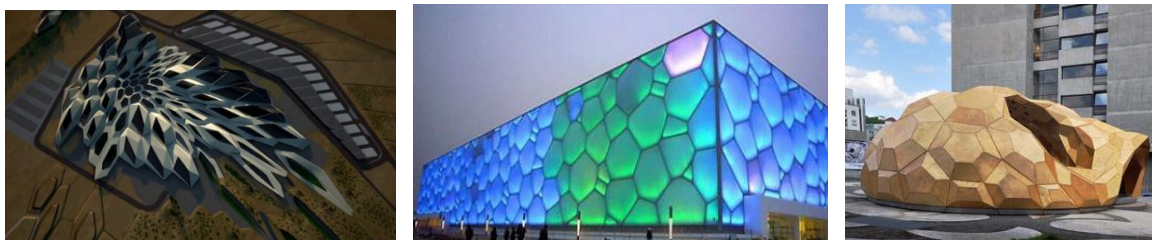


Projeto Eden (Nicholas Grimshaw), Instituto da ciência molecula La Trobe (Lyons Architects), Museu Abc (Arranguren + Gallegos).

Fig. 160 – Distribuição das formas em continuidade. As formas deixam de ser elementos Invasores, para se tornarem os elementos estruturantes da composição geométrica.

2.3 – Formas estruturais não regulares e dispostas em continuidade.

A introdução de irregularidades nas formas estruturais surge como uma variante do ponto anterior. Esta particularidade geométrica associada a uma organização em continuidade revelam uma expressividade mais próxima à das estruturas vivas. Tal facto demonstra que os elementos estruturais do vocabulário geométrico das estruturas vivas, são indissociáveis de outros requisitos geométricos, para evidenciar em conjunto, qualidades geométricas semelhantes às mesmas (fig. 161).

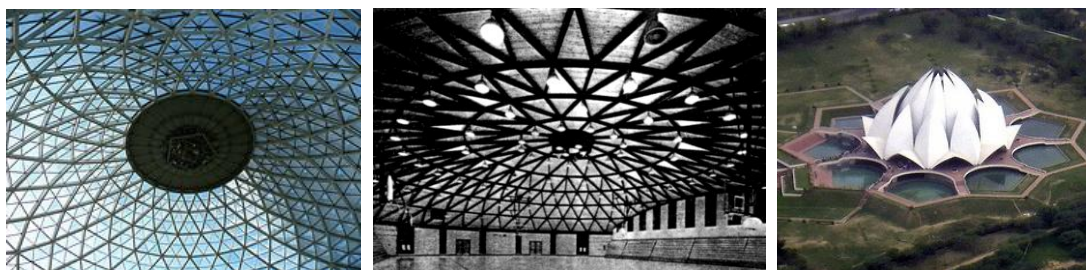


Centro de investigação e de estudos de petróleo do Rei Abdullah - Zaha Hadid (esq.), Centro aquático de Beijing - PTW Architects (centro), Igreja Santa Mónica - Vicens & Ramos (dir.).

Fig. 161 - A introdução de irregularidades nas formas estruturais, sem desfazer a disposição de continuidades dos elementos estruturais, revelam composições geométricas mais próximas das geradas pelas estruturas vivas, comparativamente às enunciadas no ponto anterior.

- Formas de organização expansiva das estruturas vivas em estruturas humanas de carácter arquitetónico.

Existem estruturas humanas de carácter arquitetónico, onde se combinam formas estruturais com formas de organização expansiva. As divergências face às composições geométricas das estruturas vivas, está no tipo de formas estruturais do seu vocabulário geométrico. As estruturas humanas, não partilham nestes casos, do mesmo vocabulário geométrico das estruturas vivas. As formas de organização expansiva, como é o caso da espiral na cúpula do Mitchell Park e da onda, no caso da cúpula do Astrodome e do Templo Lotus, são estruturados com elementos triangulares (fig. 162).



Cúpulas do Mitchell Park - Donald L. Grieb Associates (esq.), Astrodome - Hermon Lloyd & W.B. Morgan (centro), Templo Lotus - Fariborz Sahba (dir.).

Fig. 162 - Exemplos de formas de organização expansiva estruturados com malhas triangulares.

3.2.1.2 Variações proporcionais

A vida biológica é um fenómeno natural, que se manifesta no espaço mediante estruturas físicas com uma identidade morfológica muito própria. Essa identidade é incutida na matéria através de um processo de composição, resultante da conjugação de vários elementos. No entanto, os elementos implícitos na composição têm uma particularidade, nunca são iguais. Por muito semelhantes ou familiares que possam ser, não resultam da cópia exata de outros. A estrutura geométrica de cada elemento sofre um tipo de ação que lhe confere forma pela aproximação a uma idealização geométrica e não pela cópia de um ideal formal. Isto significa, que a ação que desponta este tipo de diversidade geométrica incide o seu efeito na lógica da variação proporcional (fig. 163 e 164).



Folha de marijuana (esq.), Formiga (centro), Isópode gigante (dir.).

Fig. 163 – Variação proporcional nas estruturas vivas.
Independentemente do caráter morfológico de cada estrutura viva, estas resultam sempre da conjugação de vários elementos semelhantes com variações proporcionais.



Fig. 164 – Variação proporcional na mesma espécie.

Variações proporcionais _ ordens de grandeza

As formas conotadas de harmoniosas transmitem uma sensação de coesão. Todas as suas partes são de tal modo ordenadas e agregadas entre si, que parecem inquebráveis. Esta sensação deve-se em muito à variação de proporção existente entre os elementos da estrutura. Quando os saltos de proporção entre elementos adjacentes são muito grandes, a forma perde coesão (fig. 165). Portanto, isto demonstra, que a coesão estrutural estabelece valores de

variação proporcional entre elementos ligados em continuidade que não devem ser ultrapassados (fig. 166), senão a forma entra em rotura. Mas que valores são esses?

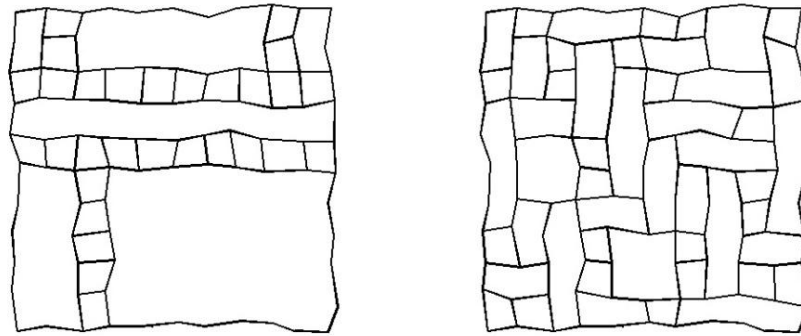


Fig. 165 – Coesão estrutural.

Comparação geométrica entre estruturas, cuja forma é gerada por grandes e pequenos saltos de proporção entre elementos adjacentes. As grandes variações de proporção entre elementos, retiram coesão à composição formal. A estrutura fica frágil, podendo mesmo entrar em rotura (esq.). Já as composições geométricas com pequenos saltos proporcionais entre elementos geram estruturas coesas e compactas (dir.) Portanto, os grandes saltos desligam os elementos estruturais, enquanto que os pequenos saltos propiciam a ligação entre os mesmos.

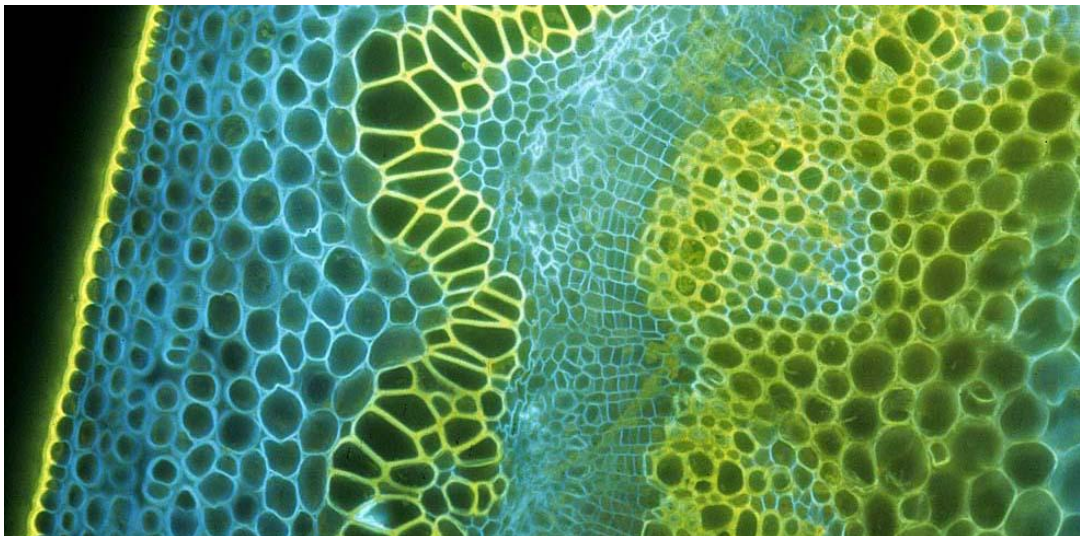


Fig. 166 – Exemplo de coesão estrutural nas estruturas vivas.

A estrutura da secção transversal da haste de uma plântula de soja, demonstra a forte coesão estrutural obtida com pequenos saltos de proporção entre elementos adjacentes. Nenhuma parte dessa estrutura aparenta rotura. As variações de proporção entre os elementos são harmoniosas e essa harmonia propaga-se ao longo de toda a composição geométrica.

A procura de relações proporcionais harmoniosas das estruturas vivas, para aplicar nas mais variadas artes humanas, não é algo de novo. Algumas tentativas de definição de ordens de grandeza proporcional foram realizadas ao longo da história, destacando-se nesta temática os trabalhos realizados por Vitrúvio, D'Arcy Thompson, Christopher Alexander e os estudos de proporção áurea.

- *Vitrúvio*

Vitrúvio, no seu tratado de arquitetura, estabelece um conjunto de relações proporcionais, tendo como referência a harmonia das proporções humanas. Para determinar os valores das ordens de grandeza a aplicar nas suas estruturas, tentou encontrar deliberadamente no corpo humano, relações de proporção harmoniosa, tendo como referência os compassos de harmonia musical ($1/2$ - Dupla; $1/3$ – Tripla; $1/4$ - Quádrula; $2/3$ – Sesquiltera; $3/4$ - Sesquitercia) (Pollio, 1960; Lorente 2001) (fig. 167). Sendo os diferentes membros do corpo humano, partes proporcionadas do todo, Vitrúvio tentou estabelecer relações proporcionais entre a altura do corpo e as dimensões de alguns membros deste. Desta análise obteve as seguintes relações: a altura do corpo humano é igual a dez rostos, ou 8 cabeças, ou 6 pés, ou 4 côvados ou 24 palmos (fig. 168). Com estes valores, tentou encontrar relações proporcionais entre as diferentes unidades de medição do corpo e a ordem de grandeza dos intervalos de harmonia musical. O resultado foi o seguinte:

- Relação = côvado / cabeça = $1/2$ = dupla
- Relação = cabeça / palmo = $1/3$ = tripla
- Relação = pé / palmo = $1/4$ = quádrupla
- Relação = côvado / pé = $2/3$ = sesquiltera
- Relação = pé / cabeça = $3/4$ = sesquitercia

Vitrúvio, mediante a sua investigação, demonstrou que a harmonia, qualquer que seja o modo como se expresse, detém ordens de grandeza muito próprias. Face a esta evidência, estabeleceu como ordens de grandeza harmoniosas, as relações proporcionais que identificou, tendo-as aplicado em inúmeras construções romanas (fig. 169).

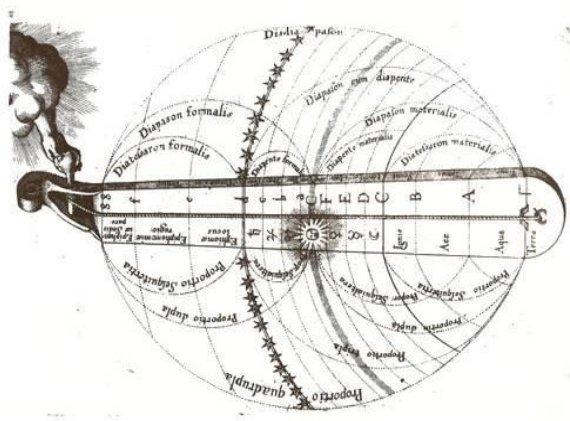


Fig. 167 - Intervalos de harmonia musical

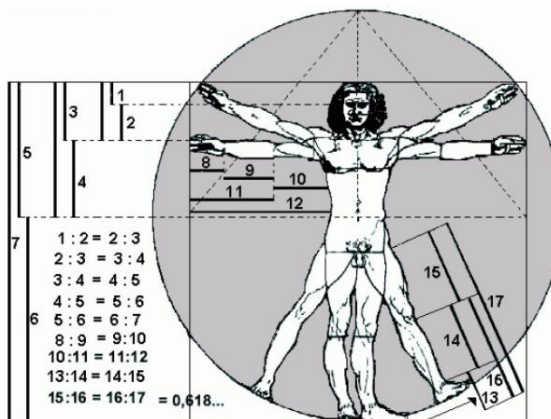


Fig. 168 - O homem Vitruviano

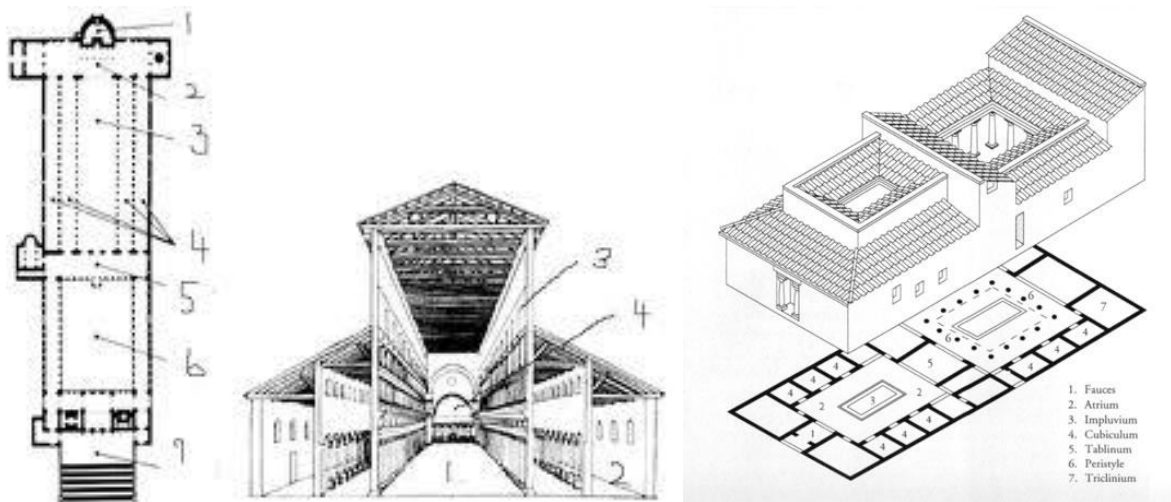


Fig. 169 – Exemplos de relações proporcionais em construções romanas.

- Propostas para áreas retangulares (basílicas, templos, fóruns romanos) – $2/3$, $1/3$, $1/2$.
- Relação entre nave central e laterais – $3/4$.
- Relação entre elemento principal (átrio) e os espaços de estar contíguos – $2/3$, $1/2$, $1/3$.

- Christopher Alexander

Alexander (2001) interpretou o conceito de harmonia, pela perspectiva de coesão estrutural. Para que as variações proporcionais não ponham em causa a coesão geométrica das estruturas, Alexander defende que os saltos de proporção entre elementos adjacentes não devem ser muito elevados. Referenciando-se nas ordens de grandeza com que as estruturas vivas obtêm a sua coesão, definiu como cruciais para a mesma, os seguintes valores: $1/2$, $1/3$ e $1/4$ (fig. 170). Contudo, na sua opinião, os saltos de proporção não devem ser interpretados como restringidos a estes valores. A ordem de grandeza entre elementos pode ser aleatório desde que estes não sejam inferiores a $1/4$ ou superiores ao quádruplo (fig. 171 e 172). Fora deste intervalo, Alexander defende que a coesão estrutural das composições fica mais fragilizada, podendo mesmo manifestar-se sobre a forma de rotura estrutural.

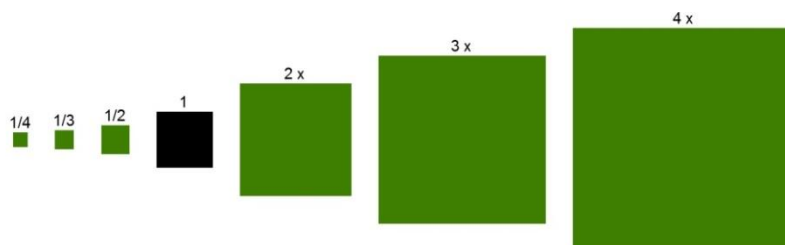


Fig. 170 – Saltos proporcionais predominantes entre elementos adjacentes das estruturas vivas. Tendo a unidade como referência, os saltos entre elementos adjacentes não devem ultrapassar $4x$ ou $1/4$ da dimensão do elemento tido como referência, sendo mais frequentes os saltos a rondar o dobro ou a metade da dimensão referencial.

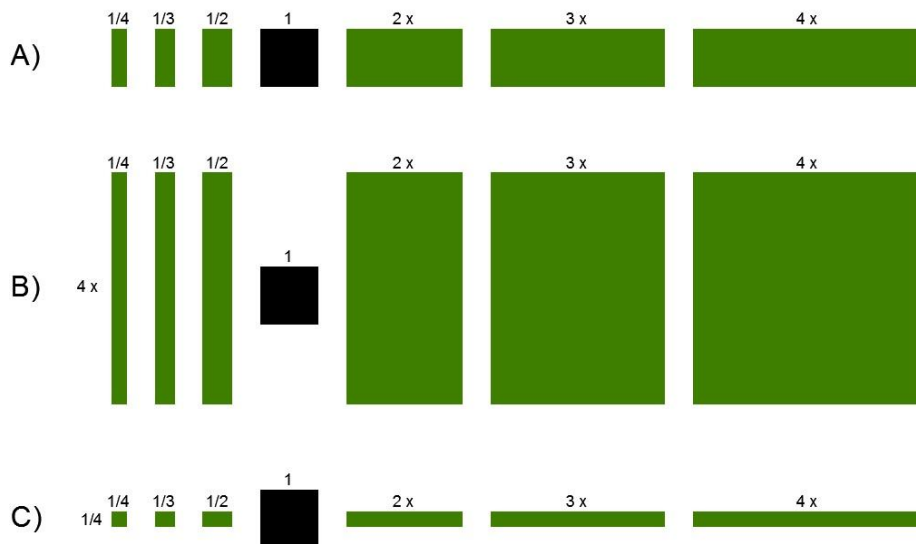


Fig. 171 – Variabilidade direcional das variações proporcionais.

Os saltos de proporção entre elementos adjacentes, não necessitam de se manifestar na mesma ordem de grandeza em todas as dimensões espaciais da forma. O exemplo (B) demonstra as diversas variações Dentro dos parâmetros harmoniosos, com a particularidade de se manter uma das dimensões de expansão proporcional estática. Os exemplos (C) e (D) pretendem demonstrar os limites proporcionais máximos de uma forma, quer por excesso quer por defeito. Qualquer variação que exceda estes valores, põe a forma fora dos limites da relação harmoniosa, provocando fragilidade estrutural.

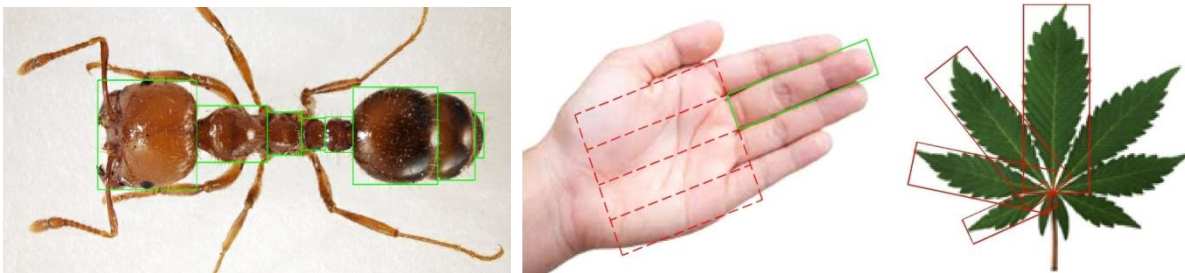


Fig. 172 – Exemplos de saltos proporcionais harmoniosos entre elementos adjacentes nas estruturas vivas.

- D'Arcy Thompson

Thompson, ao contrário de Vitruvius e Alexander, não faz referência a valores de proporção entre elementos adjacentes. No entanto, os esquemas que desenvolveu na sua teoria das transformações (Thompson, 1992) acabam por fornecer dados nesse sentido. A sua teoria consiste em demonstrar que é possível transformar a forma de uma espécie, numa outra do mesmo parentesco genealógico. Para tal, recorreu à utilização de uma malha ortogonal referencial, que sujeita a efeitos de torção, extensão ou de estreitamento geram distintas formas a partir do mesmo referencial formal (fig. 173). A partir dessas malhas, é possível observar relações de proporção. As transformações demonstram que os saltos de proporção entre os segmentos adjacentes da malha, não detêm uma ordem de grandeza superior a 1/4. As restantes variações proporcionais de maior dimensão, também não revelam ordens de grandeza

superiores a $1/2$ e $1/3$.(fig. 174). Portanto, é possível verificar, que mesmo entre espécies, o processo de evolução requer transformações com ordens de grandeza muito similares às estabelecidas por Alexander e Vitruvius.

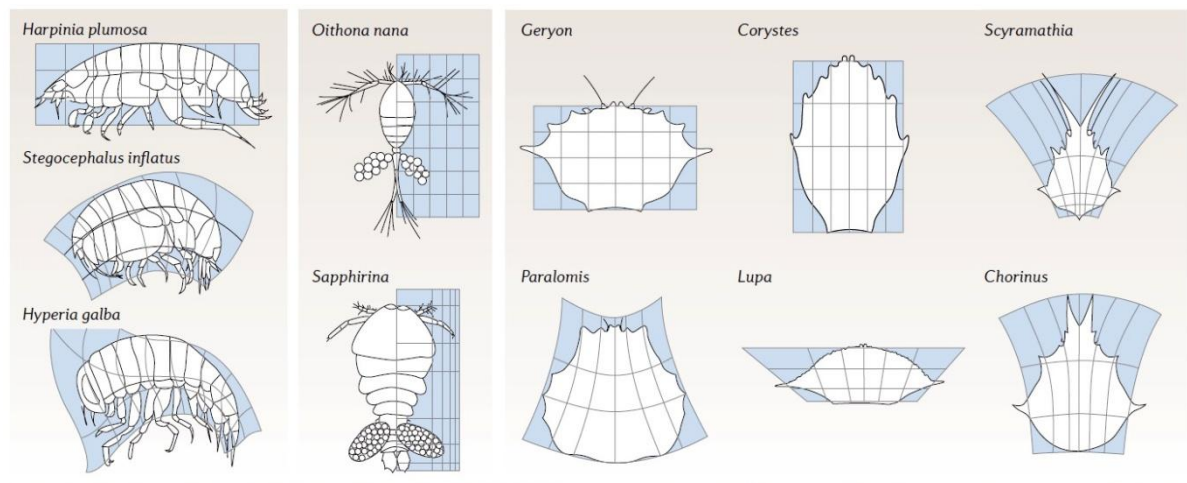


Fig. 173 – Teoria das transformações em crustáceos.

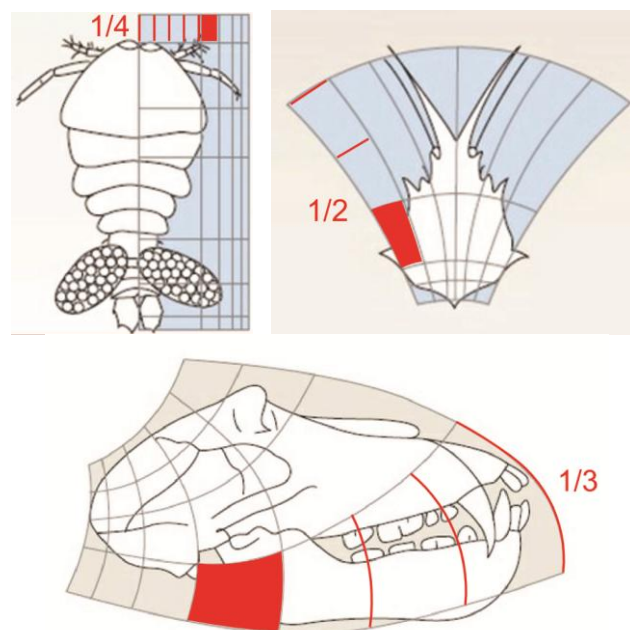


Fig. 174 – Variações proporcionais nas malhas referenciais.

- Proporção áurea

A proporção áurea é conhecida como a regra com que o universo se rege. Está presente em tudo na natureza, inclusive no homem, por isso ser referida como o símbolo máximo da harmonia. Em termos geométricos, a proporção áurea representa a mais agradável proporção

entre dois segmentos ou duas medidas, sendo o número de ouro (Phi), um valor numérico aproximado de 1.618. (fig. 175).



Fig. 175 – Proporção áurea. Relação entre dois segmentos. $\overline{GB}=2/3\overline{AG}$

Como é possível determinar se a proporção áurea está presente na configuração geométrica de uma determinada estrutura física? Recorrendo ao método de divisão geométrica da proporção áurea (Ghyka, 1977; Doczi, 2005). A partir da definição de um segmento de recta, é possível determinar geometricamente, o ponto de ouro deste segmento, ou seja, o ponto que irá separar duas identidades adjacentes, em que o quociente proporcional das suas dimensões revela a ordem de grandeza Phi (fig. 176 e 177).

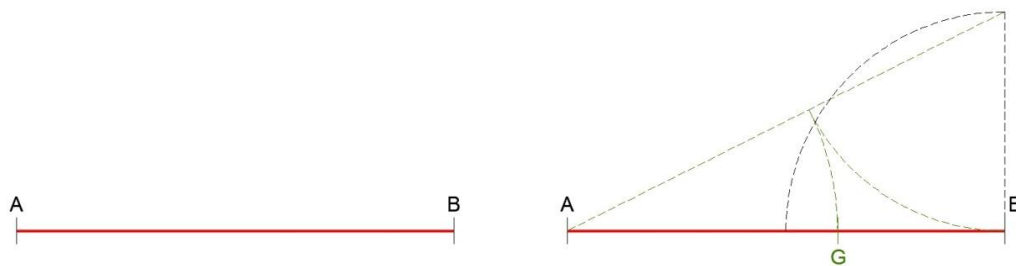


Fig. 176 – Método de divisão geométrica da proporção áurea.

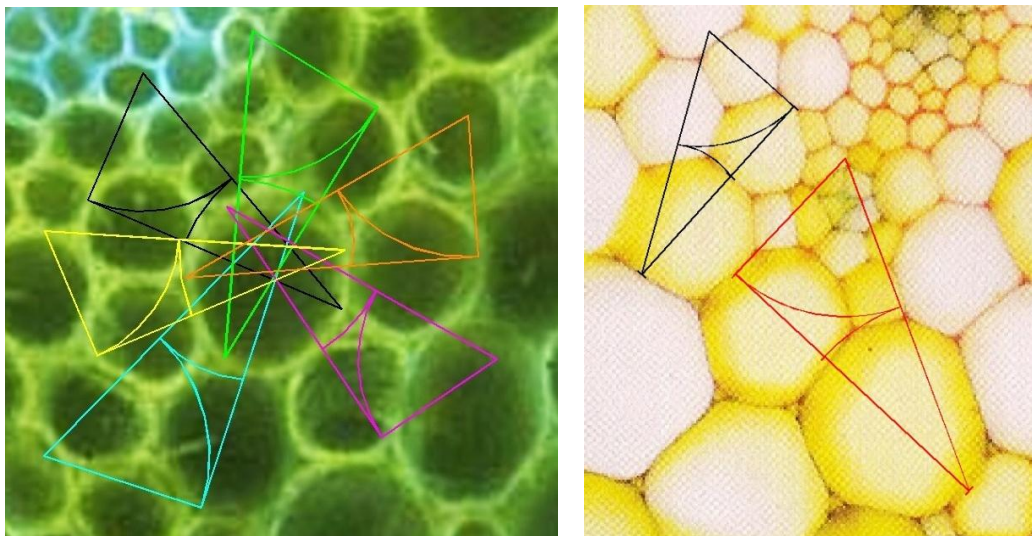


Fig. 177 – Exemplos de aplicação do método de divisão da proporção áurea em estruturas celulares. Sobre o ponto de ouro, tem que existir sempre algum acidente geométrico que separe claramente os dois elementos em análise.

Este sistema de divisão geométrica divide o segmento de reta original em outros dois de diferente dimensão, podendo estes ser novamente divisíveis pela mesma regra (fig. 178). A divisão do segmento pode ser aplicada em dois sentidos distintos. Independentemente do sentido da divisão, denomina-se como “M” o lado do segmento de maior dimensão e como “m” o lado do segmento de menor dimensão. Através destas divisões, é possível determinar as ordens de grandeza proporcional entre segmentos de reta “m” “m”, “M” “m” e “M” “M” (fig. 179, 180 e 181).

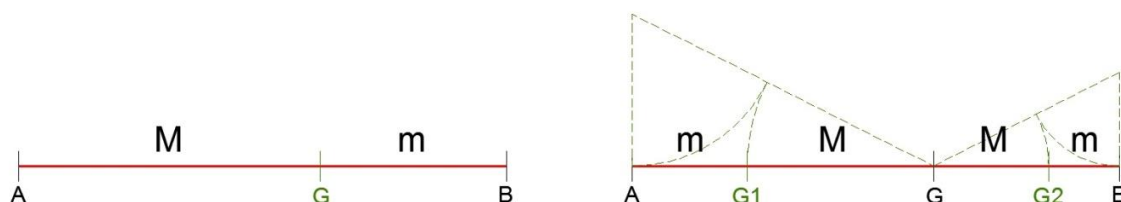


Fig. 178 – Recursividade do método de divisão da proporção áurea.
Exemplo de como o lado “M” e “m” podem voltar novamente a ser subdivididos pelo mesmo processo de divisão geométrica.

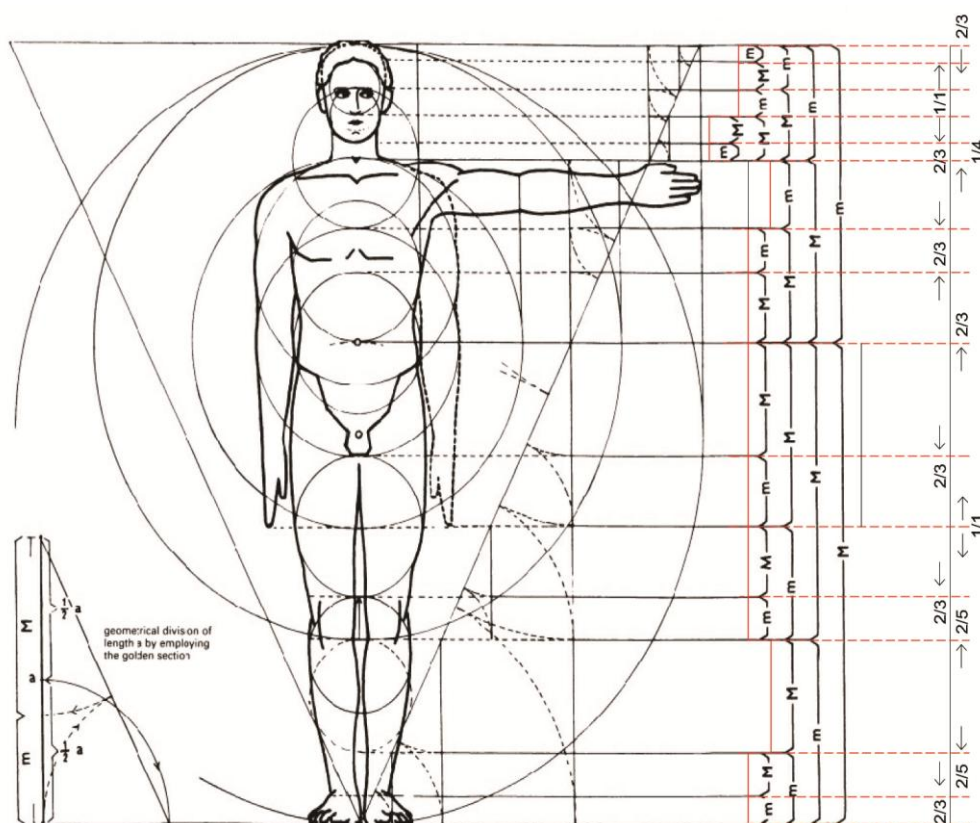


Fig. 179 – Exemplo de aplicação da regra de divisão geométrica da proporção áurea no corpo humano.
Ordens de grandeza encontradas entre elementos _ 1/1; 2/5; 2/3; 1/4.

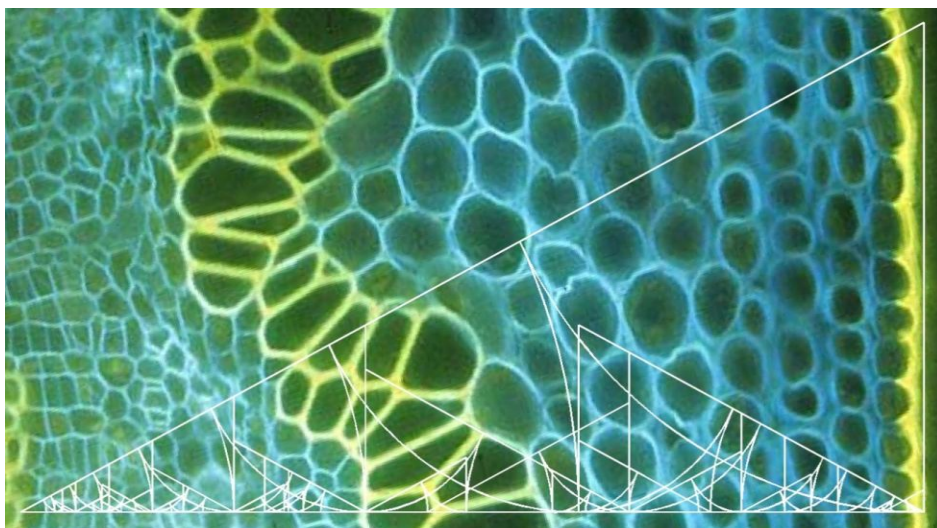


Fig. 180 – Aplicação da regra de divisão geométrica da proporção áurea numa estrutura viva.

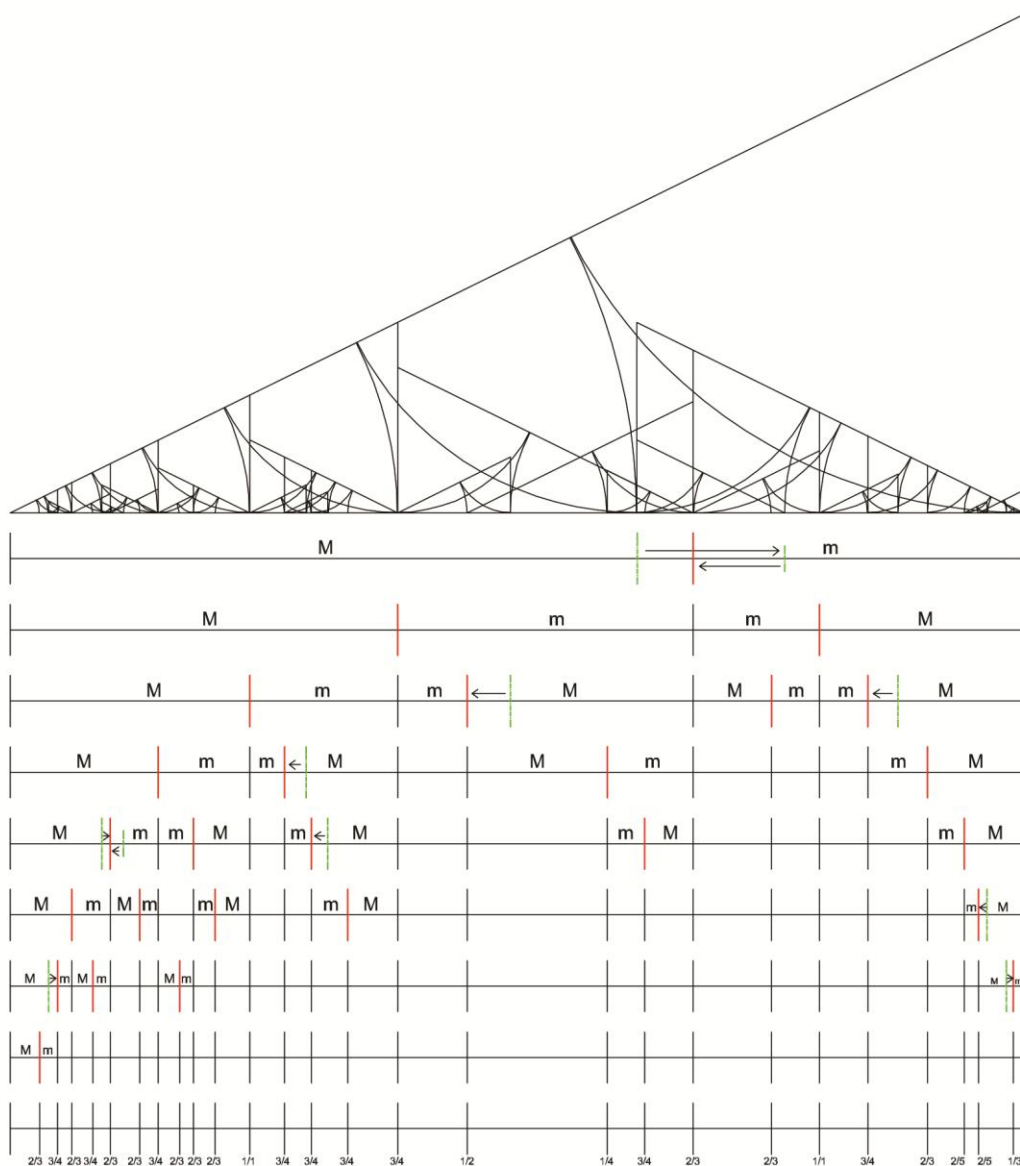


Fig. 181 – Relação de proporção entre elementos adjacentes de uma estrutura viva a partir da regra de divisão geométrica da proporção áurea (esquema representativo da figura 180).

As estruturas vivas analisadas mediante o método de divisão geométrica da proporção áurea, revelaram a existência de um padrão constante de ordens de grandeza entre os elementos adjacentes ($1/1$; $1/2$; $1/3$; $1/4$; $2/5$; $2/3$; $3/4$) (fig. 182). Contudo estas ordens de grandeza, têm a particularidade de não despontar nas estruturas vivas com a mesma frequência. Umas repetem-se nas estruturas inúmeras vezes, enquanto outras refletem-se muito pontualmente. Também à que ressaltar, que nem todas as ordens de grandeza têm que estar presentes em todas as estruturas vivas. Muitos são os casos em que não o estão.

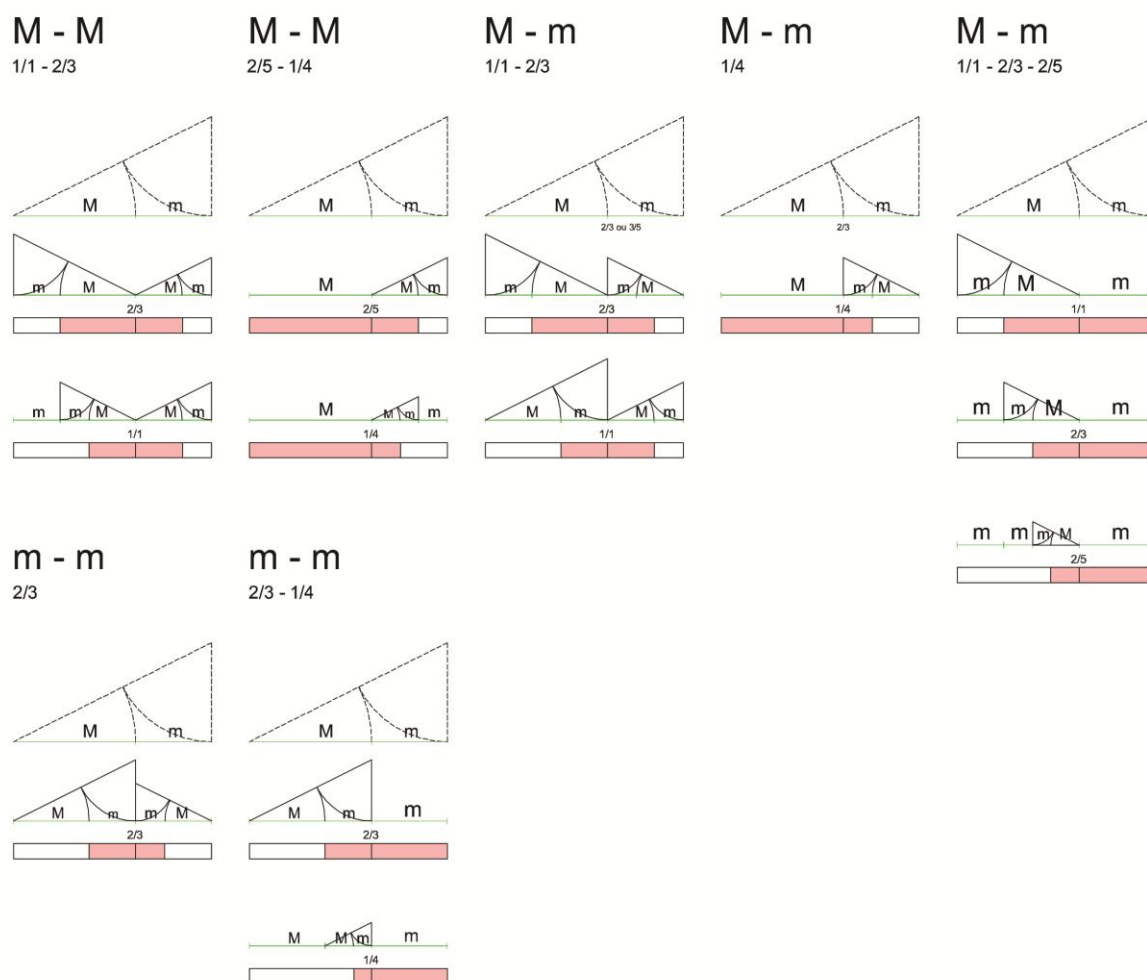


Fig. 182 – Ordens de grandeza presentes na proporção áurea.

Representação geométrica da ordem de grandeza entre dois elementos adjacentes, encontradas nas estruturas vivas, mediante o processo de divisão geométrica da proporção áurea.

Conclusão _ ordens de grandeza

Resumindo, Vitruvius estabelece um conjunto de relações harmoniosas retiradas das dimensões do homem ($1/2$, $1/3$, $1/4$, $2/3$ e $3/4$). Já Alexander, estabelece um conjunto mais

reduzido de proporções ($1/2$, $1/3$ e $1/4$), referindo-se às mesmas como sendo as mais comuns nas estruturas vivas. No entanto, deixa subentendido, que as variações proporcionais não têm que se limitar somente a essas ordens de grandeza, podendo situar-se num intervalo não inferior a $1/4$ e não superior ao quádruplo. No caso de Thompson, as variações proporcionais existentes nas malhas da teoria das transformações, revelam também que os saltos de proporção entre elementos, não ultrapassam o quádruplo da dimensão, nem são inferiores a $1/4$. No caso do método de divisão geométrica da proporção áurea, estas revelam um conjunto de relações proporcionais mais diversificadas que as anteriores ($1/1$, $1/2$, $1/3$, $1/4$, $2/5$, $2/3$ e $3/4$) e mais próximas de Vitruvius.

Todas estas hipóteses apresentam uma uniformidade de valores muito idêntica. No entanto, só a proporção áurea engloba todas as outras hipóteses. Além disso, estes valores têm a particularidade de serem obtidos mediante uma comprovação geométrica exaustiva e clara. Por essa mesma razão, as ordens de grandeza que serão tomadas como referência no processo de desenho a desenvolver pela investigação, serão as da proporção áurea.

A importância da derivação dos elementos estruturais na relação proporcional harmoniosa.

É muito importante que as relações de proporção entre elementos, seja sempre feita entre elementos adjacentes ligados em continuidade. Se assim não o for, podem surgir erros de análise que podem revelar uma errónea interpretação da qualidade de coesão estrutural. Por exemplo, se se analisar no Nautilus o salto de proporção existente entre o olho e a concha, chega-se à conclusão que não existe uma relação proporcional harmoniosa entre ambos. O olho é proporcionalmente inferior a mais de $1/4$ da proporção da concha (fig. 183). Portanto, este facto parece pôr em causa as ordens de grandeza definidas como harmoniosas. Contudo, a falta de harmonia detetada, é fruto de um erro de escolha do que se está a tentar relacionar. Apesar de coexistirem na mesma estrutura, estes elementos não derivam um do outro. Pela disposição espacial, aparentam ser elementos adjacentes, mas o olho não deriva da concha, mas sim, de outro elemento interno no organismo. Portanto, se não há ligação, não é plausível esperar uma ordem de grandeza harmoniosa na relação proporcional dos elementos. Logo, não é de mais ressaltar, que a proximidade e até mesmo o contacto entre elementos, não lhes confere fidedigna relação proporcional harmoniosa, só a ligação o faz.

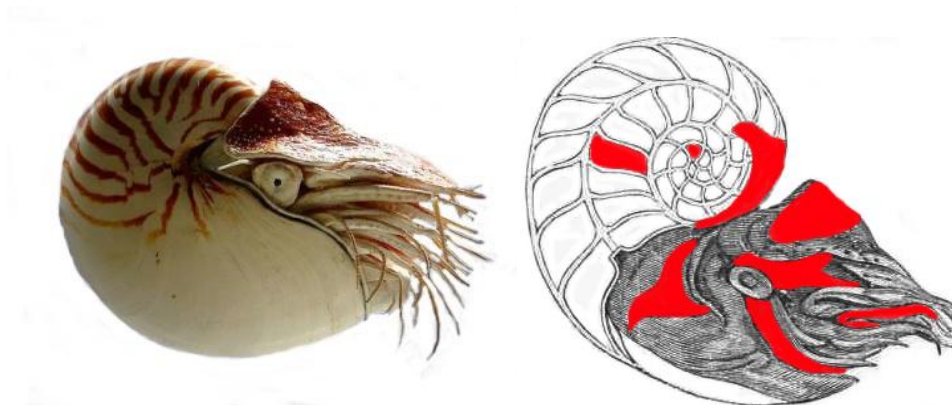


Fig. 183 – Derivação dos elementos – Nautilus.

As análises proporcionais entre elementos de uma forma, requerem sempre a sua compreensão estrutural, de modo a discernir corretamente, de onde derivam os diversos elementos geométricos que estruturam a estrutura.

Variações proporcionais das estruturas vivas em estruturas humanas de caráter arquitetônico.

Nas atuais estruturas humanas de caráter arquitetônico, é cada vez mais raro identificar composições geométricas, cujas relações proporcionais entre os seus elementos consigam gerar níveis de coesão estrutural com algum tipo de proximidade ao das estruturas vivas. Existem determinadas condicionantes geométricas necessárias à coesão estrutural, que não estão a ser contempladas no processo de geração das mesmas. Portanto, o objetivo desta análise, através do recurso a exemplos arquitetônicos, é assinalar o tipo de condicionantes geométricas que estão por detrás dessa rotura estrutural, bem como o resultado que estas qualidades geométricas apresentam quando contempladas no processo de desenho.

- Exemplos de estruturas humanas de caráter arquitetônico sem coesão estrutural

A ausência de coesão estrutural nas estruturas humanas deve-se a pelo menos quatro tipos de opções geométricas durante o processo de desenho. São eles: dispersão dos elementos geométricos, continuidades geométricas sem variações proporcionais, continuidades geométricas com grandes variações proporcionais e variações proporcionais condicionadas.

1 - Dispersão dos elementos geométricos

Um dos principais motivos para a inexistência de coesão estrutural, está relacionado com o processo expansivo da forma. Na maioria das composições atuais, o processo de expansão progressivo, encontra-se invertido comparativamente ao processo de expansão das estruturas

vivas. A imposição de uma idealização estrutural é suprema face aos elementos que compõem a estrutura. Ou seja, a estrutura geométrica não é dependente dos elementos geométricos que a compõem. Este fenómeno é facilmente perceptível pela falta de ligação entre elementos que coexistem na mesma estrutura (fig. 184). Estes são independentes e dispersos, porque a sua conjugação não necessita de gerar uma forma. Estão a mais. Não detêm qualquer tipo de relação geométrica com a forma que as alberga, para além da semelhança geométrica (fig. 185). Apenas existem para perturbar a estrutura geométrica sob a qual existem, contribuindo para a rotura estrutural das mesmas.



Escola Zollverein – Sanaa (esq.), Torre Turning Torso - Santiago Calatrava (centro), Pavilhão da Sede – Expo Zaragoza 2008 - Cero 9 (dir.).

Fig. 184 – A dispersão de elementos geométricos, mesmo que contenham variações de proporção, interrompem toda e qualquer tentativa de coesão estrutural, isto porque, os elementos não são necessários para gerar a estrutura onde estão inseridos.

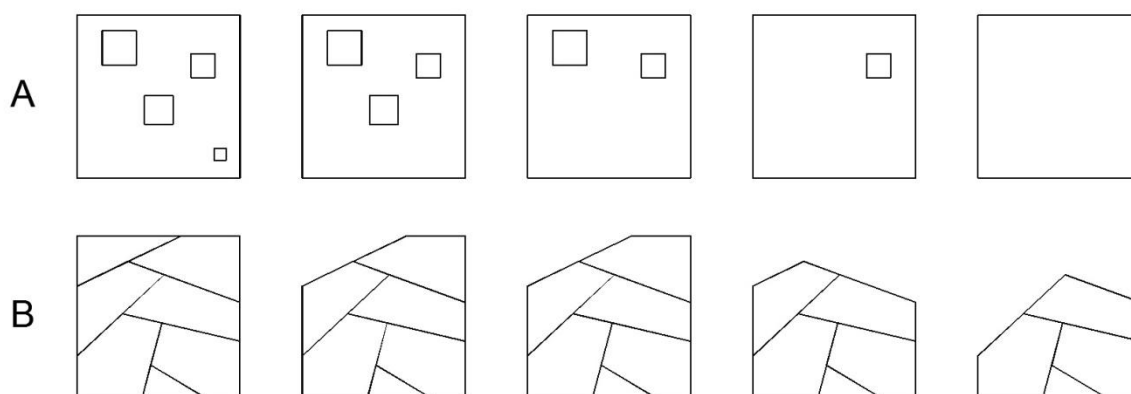


Fig. 185 – Dependência entre elementos estruturais.

(A) Estrutura geométrica onde os elementos geométricos internos, não têm qualquer tipo de participação na composição estrutural da forma. Encontram-se dispersos dentro do espaço interior de uma forma preconcebida. Estruturalmente estão por excesso. Retirá-los não implica qualquer transformação estrutural na forma onde estão inseridas. (B) Estrutura geométrica onde a forma é totalmente dependente da conjugação dos elementos geométricos. Se estes forem retirados um a um, a composição inicial, transforma-se noutra distinta. É este o modelo de dependência geométrica, que vinga nas estruturas vivas.

2 – Continuidade geométrica sem variações proporcionais

O ponto anterior demonstrou que a coesão requer continuidade e não dispersão dos elementos geométricos. Contudo, a sucessão de elementos por continuidade requer variações proporcionais entre os mesmos. Se a composição geométrica dispor continuamente o mesmo elemento, este gera estruturas geométricas arrumadas e não agregadas. A repetição exata em continuidade torna a forma estática e homogênea, sem qualquer tipo de dinamismo direcional (fig. 186 e 187).



Pavilhão de Espanha expo 2005 - Foreign Office Architetcs (esq.), Torre Hearst - Norman Foster (centro),
Sede da Prisma Engenharia – Splitterwerk (dir.).

Fig. 186 – Exemplos de composições estruturais geradas por continuidade geométrica dos elementos, sem variação proporcional. O olhar fica estático na forma. Os elementos não impõem qualquer desvio direcional para um ponto da composição.

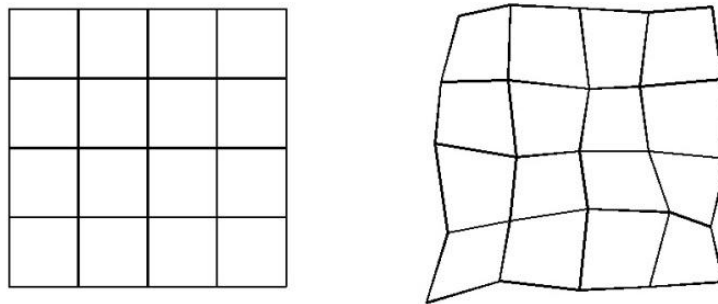


Fig. 187 – Comparação do efeito de coesão entre continuidades geométricas, com elementos sem variação proporcional (esq.) e com variação proporcional (dir.). O efeito de arrumação da primeira contrasta com o efeito de agregação da segunda. Os elementos, do segundo caso, aparentam oferecer uma maior resistência à sua exclusão da composição. Isto demonstra, que a variação proporcional nos elementos ligados em continuidade é um fator preponderante para despontar uma forte coesão estrutural.

3 – Continuidade geométrica com grandes variações proporcionais

Como verificado no ponto anterior, a coesão estrutural requer variação proporcional entre os seus elementos. No entanto, casos existem, em que essas variações também não despojam coesão estrutural. A razão está na ordem de grandeza dos saltos proporcionais entre elementos ligados em continuidade. A coesão estrutural requer uma variação proporcional entre elementos adjacentes de pequena dimensão. Quando tal não acontece, os elementos estruturais aparentam funcionar como estruturas autónomas e não como partes de uma mesma estrutura (fig. 188).



Parkrand Building – MVRDV (esq.), Market Hall – MVRDV (centro), Hall Cambridge Ma - Steven Holl (dir.).

Fig. 188 – Interrupção estrutural na composição por saltos proporcionais elevados entre elementos adjacentes.

4 – Variações de proporção condicionadas

Muitas são as composições geométricas, onde a variação de proporção dos elementos dispostos em continuidade, são condicionados no espaço por uma direcionalidade forçada. A liberdade expansiva dos elementos fica limitada a apenas uma das três dimensões, sendo as restantes repetidas ao longo da composição. Apesar da pouca liberdade de ocupação espacial dos elementos geométricos, estes já conseguem incutir algum dinamismo pontual à composição, comparativamente ao efeito estático dos exemplos do ponto 2. No entanto, a sua coesão estrutural ainda é frágil. O forte e vincado paralelismo dos diversos focos direcionais sugere uma forma facilmente quebradiça, pondo em causa a coesão estrutural (fig. 189).



Christian Dior Amostrando – Sanaa (esq.), Lar de Idosos de Alcácer do Sal - Aires Mateus (centro), Casa de madeira - Sou Fujimoto (dir.).

Fig. 189 – Limitação espacial das proporções.

A variação de proporção limitada a apenas uma dimensão cria tímidos rasgos de dinamismo. O conflito entre dinamismo e a estabilidade geométrica das dimensões condicionadas constringe a coesão estrutural.

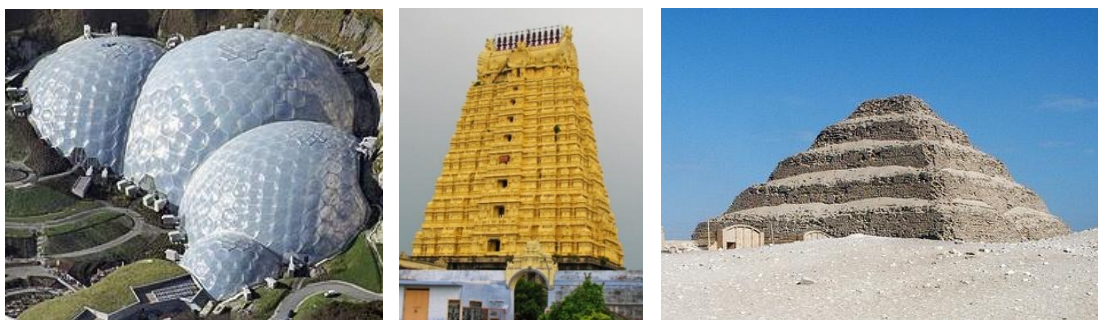
- Exemplos de estruturas humanas de caráter arquitetônico com coesão estrutural

A coesão estrutural pode revelar-se nas estruturas humanas de caráter arquitetônico, mediante dois modos distintos de organização dos elementos estruturais. Um cuja variação proporcional dos elementos é progressiva (fig. 190) e outro, cuja variação dos elementos, ao longo da estrutura, não é distribuída em cadência pela sua ordem de magnitude (fig. 191). Em ambos os casos, a liberdade posicional dos elementos, o seu posicionamento em continuidade e a variação proporcional entre os mesmos dentro dos intervalos de valores definidos no ponto 3.2.1.2, conferem à forma coesão.



Pavilhão Arsenal - Valerio Olgiati (esq.), Igreja Santa Mónica - Vicens & Ramos (dir.).

Fig. 190 - Exemplos de composições geométricas cujos, elementos não são distribuídos em cadência pela sua ordem de magnitude. A variação proporcional dos elementos, por ausência de repetição, reforça a união entre elementos estruturais adjacentes e consequentemente a coesão do todo.



Projeto Eden - Nicholas Grimshaw & Partners (esq.), Templo Ekambaranathar – Pallava (centro), Pirâmide de Djeser (dir.).

Fig. 191 - Exemplos de composições geométricas, cujos elementos são distribuídos em cadência pela sua ordem de magnitude. Nestes casos, a distribuição dos elementos gera um campo vetorial a favor de um determinado ponto da composição. Este facto, potencia a coesão dos elementos em favor de um todo organizativo comum.

3.2.2 EXPANSÃO ESTRUTURAL

O processo de crescimento pelo qual se regem as composições geométricas das estruturas vivas, requer expansão. O processo de expansão das mesmas advém sempre de um processo de reprodução, onde novos elementos são acrescentados à estrutura a partir de outros já existentes. Isto significa, que a expansão estrutural é obtida pela repetição de elementos e

nunca pelo aumento da massa dos mesmos. Contudo, da sua inclusão desponta sempre uma transformação estrutural. No entanto, estas nunca perdem a sua identidade formal, mesmo que após inúmeras transformações, a composição seja distinta da inicial a todo o processo (fig. 192).



Fig. 192 – Metamorfose da rã.

A mutação de uma rã demonstra que, transformação após transformação, a coesão estrutural da forma mantém-se. Por mais variações de proporção a que os elementos estejam sujeitos, estes mantêm sempre um perfeito jogo de harmonia, tanto entre elementos, como nas relações proporcionais da estrutura que compõem.

Que características geométricas estarão implícitas nos processos de expansão, para que as estruturas vivas mantenham as suas qualidades de coesão e a identidade geométrica após cada transformação? A coesão estrutural é mais forte, quando tudo o que compõe uma composição exista para servir um propósito comum. Como se traduz esta ideia em termos geométricos? Traduz-se a partir do conceito de equilíbrio geométrico (ver ponto 3.2.1.1). Uma composição estrutural serve um propósito comum, quando toda a estrutura é direccionada para um ponto de pausa, ou seja, para um centro. E este encaminhamento, só é possível, se os elementos que dão corpo à composição desportarem um campo de forças em favor do centro. Portanto, a forte coesão das composições geométricas das estruturas vivas, depende de um centro gerador e da repetição de elementos em favor desse centro (fig. 193).

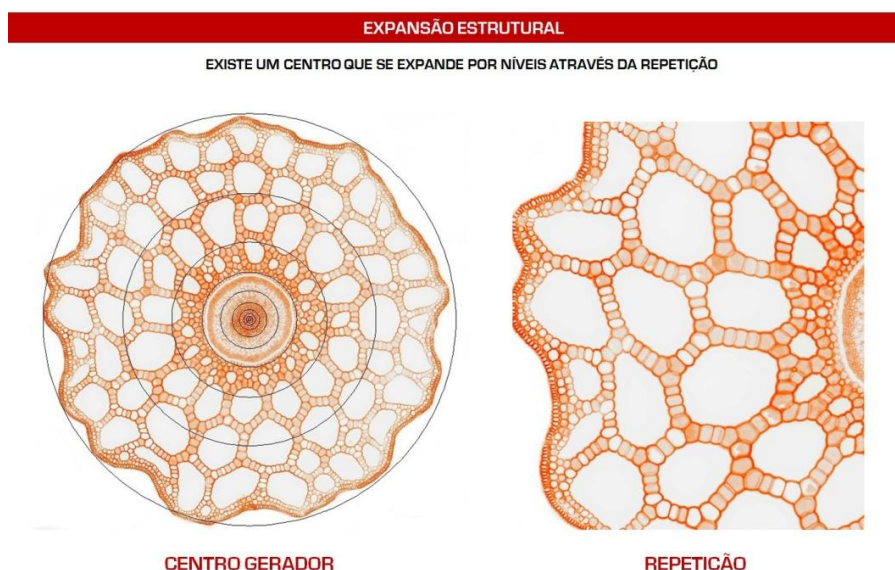


Fig. 193 – As qualidades geométricas inerentes ao processo de expansão estrutural.

3.2.2.1 CENTRO GERADOR

A geração de uma estrutura por expansão requer dois distintos requisitos geométricos: um centro e níveis de expansão referenciados nesse mesmo centro.

3.2.2.1.1 Centro

Nas estruturas geradas pelo fenómeno da vida, existe sempre uma zona para a qual a composição geométrica converge sem qualquer resistência. É esta zona que se denomina de centro. Esta é provavelmente a característica geométrica mais importante nas estruturas vivas. É algo tão fortemente implícito na identidade física das mesmas, que a sua ausência é razão suficiente para a não conotar como tal (fig. 194).

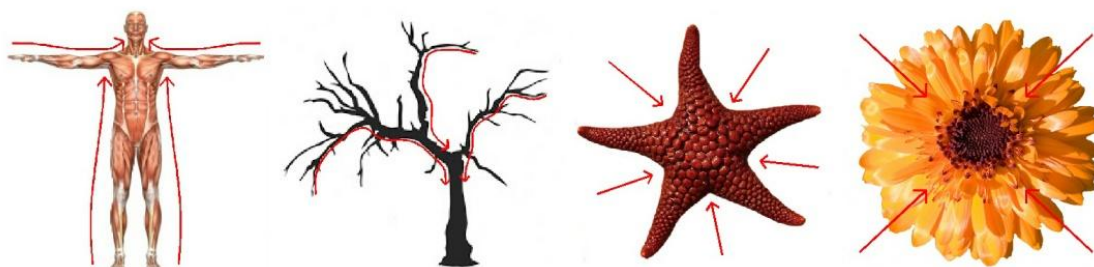


Fig. 194 – As composições geométricas das estruturas vivas convergem sempre para uma zona fixa.

Um centro, não tem um posicionamento específico na composição geométrica. No entanto, podem-se padronizar, pelo menos dois tipos de posicionamento espacial dos mesmos nas formas: centro coincidente com centro geométrico (coincidência aproximada devido à irregularidade das formas) e centro não coincidente com o centro geométrico. Este último pode ter duas derivações. O centro situa-se algures no espaço interior da forma, que não o centro geométrico, ou no limite da mesma (fig. 195).

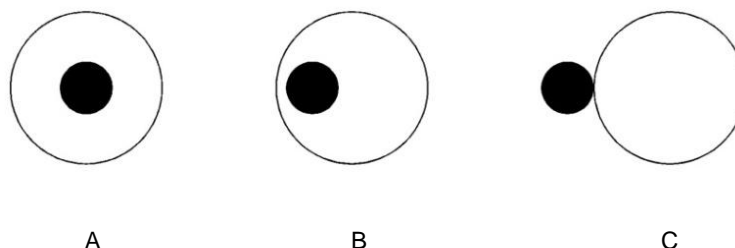


Fig. 195 – Centros

a) o centro coincide com o centro geométrico da forma; b) o centro não coincide com o centro geométrico da forma; c) o centro situa-se no limite da forma.

- *Centro coincidente com o centro geométrico* - a disposição dos elementos que compõem a forma, gera um campo de forças que direciona o olhar para um ponto central da composição (fig. 196).

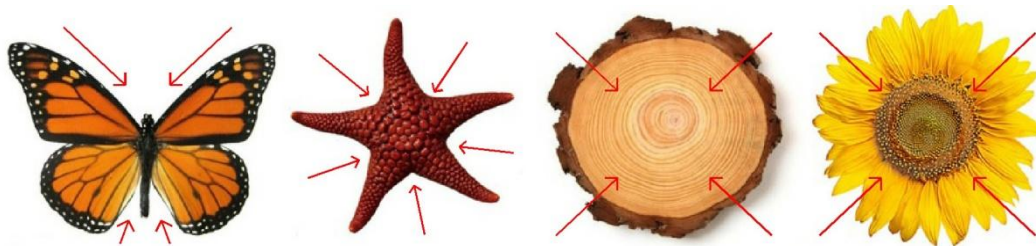


Fig. 196 – Exemplos de estruturas vivas cujo centro gerador coincide como centro geométrico da composição.

- *Centro não coincidente com o centro geométrico* – a disposição dos elementos que estruturam a composição geométrica, produz um campo de forças que direciona o olhar para um ponto não coincidente com o centro geométrico da forma. Este pode ser disposto no interior da forma, ou coincidir com um ponto do seu limite (fig. 197 e 198).

1 - Centro no interior da forma.



Fig. 197 – Exemplos de centros no interior da forma. As variantes podem ser inúmeras, mas não obrigam a que o centro se posicione no elemento de maior massa da composição. O corpo humano, é um exemplo claro, de como o centro pode estar fora da massa dominante da composição.

2 - Centro no limite da forma.

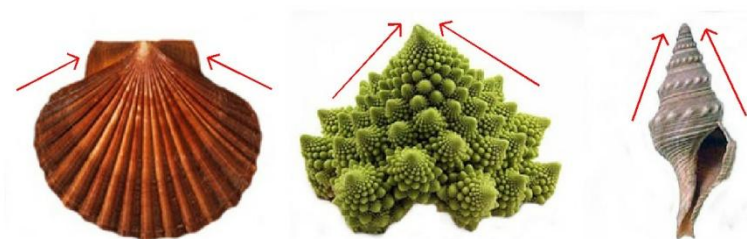


Fig. 198 – Exemplos de centros no limite da forma. Neste tipo de composição geométrica, o centro é reduzido a um ponto e não a uma zona. Esse ponto tem a particularidade de ser parte do limite estrutural da composição.

No entanto, para que algo se destaque numa forma, é necessário que tudo aquilo que o envolva seja encaminhado para esse algo. Esse efeito, só é possível de obter mediante a variação progressiva da quantidade de algo no espaço, ou seja, com a existência de gradientes.

Gradientes

Toda a envolvente ambiental (biótica ou abiótica) é construída a partir de variações progressivas da quantidade de algo no espaço. O oxigénio, é gradualmente mais escasso à medida que aumenta a altitude. A pressão da água aumenta gradualmente com a profundidade. A temperatura, aumenta gradualmente à medida que o ângulo com a terra num ponto caminha para a perpendicularidade. São estas lentas e graduais variações de qualidades que se denomina por gradientes. As estruturas vivas detêm esta particularidade. As suas composições geométricas apresentam campos graduados de variações proporcionais, do centro para o limite ou vice-versa (fig. 199).



Fig. 199 - Exemplo de variações lentas e graduais nas estruturas vivas _ efeito gradiente

As estruturas vivas são compostas por inúmeros elementos estruturais, mas o que as distingue de todas as outras, é o facto de esses mesmos elementos existirem em favor de um centro. Essa clarividência resulta da repetição progressiva dos elementos estruturais mediante uma cadência proporcional e um posicionamento espacial específico (do limite para o centro ou vice-versa) (fig. 200).

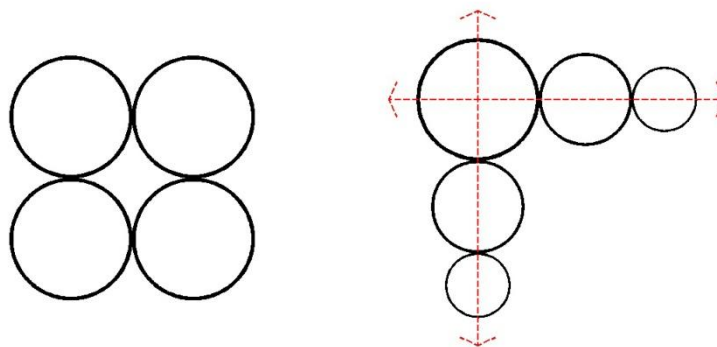


Fig. 200 – Variação proporcional e campos de forças.

O salto proporcional entre elementos adjacentes, cria um de campo de forças na composição geométrica (dir.). O olhar é encaminhado, porque as variações de proporção despontam dinamismo. Já as formas compostas por elementos geométricos sem variação proporcional, tornam-se estáticas (esq.). Tudo nelas parece igual, calmo e monótono. O olhar fica retido num ponto, por não ter qualquer tipo de encaminhamento direcional.

Nas estruturas vivas, estas cadências podem manifestar-se mediante dois tipos distintos de gradientes: gradientes por variação proporcional progressiva e gradientes por efeito de oscilação. O primeiro requer a presença de vários elementos estruturais em contínua e progressiva variação de proporção (fig. 201 e 202). Os segundos, permitem a coexistência de gradientes em crescente e em decrescente no mesmo sentido de uma determinada direção. No entanto, as ondas geradas pelo efeito crescente e decrescente dos gradientes têm que aumentar a sua ordem de grandeza progressivamente (fig. 201 e 203).

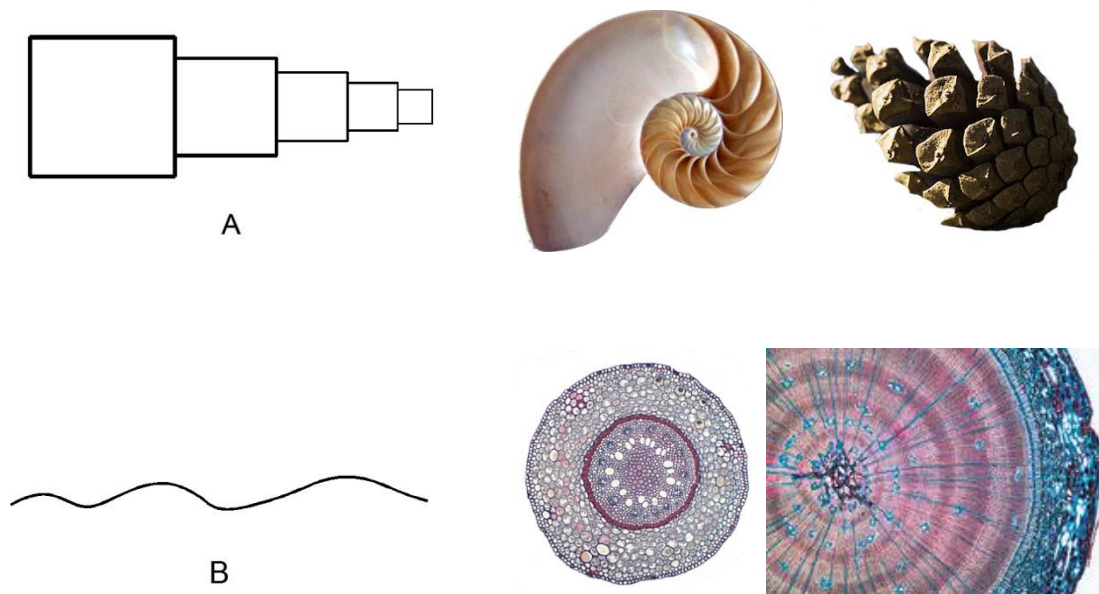


Fig. 201 – Tipos de gradientes.
(A) Gradiente por variação proporcional progressiva. (B) Gradiente por efeito de oscilação.

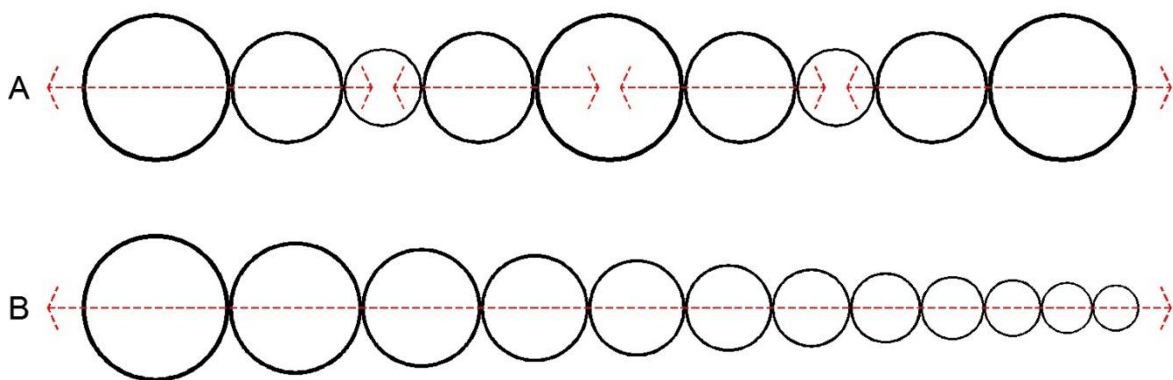


Fig. 202 – Geração de orientação em gradientes progressivos.
Os gradientes por variação proporcional progressiva geram uma orientação clara pelo acréscimo de um sentido. O olhar é convidado a percorrer a composição, definindo-lhe claramente um princípio e um fim (B). Contudo, se numa direção existirem várias mudanças de sentido, a orientação estagna. A composição geométrica impõe obstáculos à sua leitura, tornando assim mais difícil a percepção dos seus limites (A).

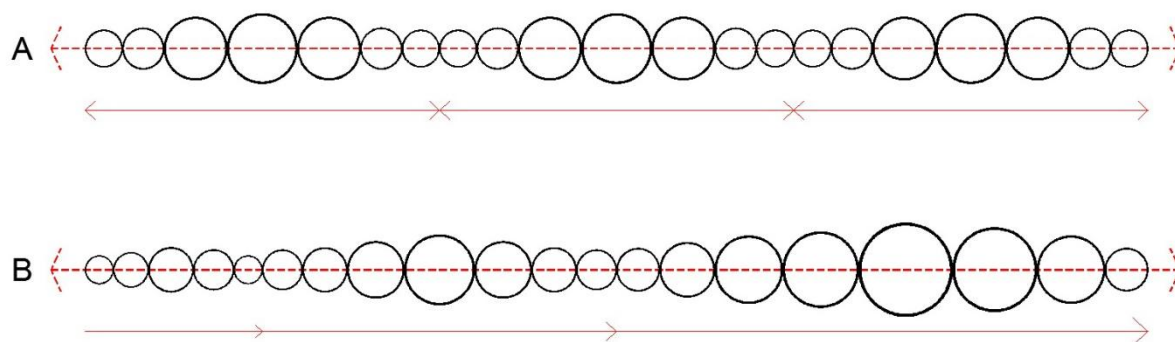


Fig. 203 – Geração de orientação em gradientes oscilantes.

Os gradientes por efeito de oscilação, também geram uma orientação clara pelo acréscimo de um sentido, se o intervalo das ondas que o caracterizam for aumentando progressivamente a sua ordem de grandeza (B). O olhar é convidado a percorrer toda a composição geométrica do princípio ao fim, sem a necessidade de inverter o sentido de leitura da mesma, tornado a dedução dos seus limites claros. Se tal não suceder, a leitura da composição encontra resistência, pelas constantes chamadas de atenção que a composição invoca (A).

Centro gerador nas estruturas humanas de caráter arquitetónico

Esta pode ser considerada, a característica geométrica que o processo de desenho arquitetónico atual gera com menos frequência. A composição geométrica da larga maioria dos edifícios, ou não gera um campo de forças, ou atropelava-se em múltiplos campos de forças que se auto anulam. Os exemplos que se seguem, referentes a estruturas arquitetónicas com e sem centro forte, permitem demonstrar um facto de extrema relevância, o centro gerador não tem qualquer tipo de relação direta com o tipo de complexidade geométrica da composição. Esta pode manifestar-se em formas estruturalmente simples ou complexas, com o mesmo nível de intensidade e simplicidade. É na disposição espacial dos elementos que estruturam a forma, que reside a génese desta propriedade geométrica.

Exemplos sem centro gerador

A ausência de centros geradores nas composições, não implica uma forma rígida, estática e sem campos de força. A dinâmica oferecida por um campo vetorial, pode existir na forma, mas tal não implica a existência de um centro gerador. Por exemplo, a Casa Transparente (fig. 204), de Sou Fujimoto é uma estrutura rica em campos vetoriais, muito devido às intensas variações de escala dos elementos que a compõem. Essas variações de proporção faz com que o olhar salte pelas formas. No entanto, este não é encaminhado para nenhum ponto específico da composição. O mesmo sucede com os típicos edifícios de Amsterdão (fig. 205). Embora com menos intensidade que no exemplo anterior, a estrutura de conjunto, também apresenta campos vetoriais. A unidirecionalidade desses campos vetoriais permite facilmente perceber como os mesmos se anulam pela rotura de cadência, devido à constante alternância de sentido

da variação proporcional dos elementos. Já na residência de estudantes em Amesterdão, de Tempohousing (fig. 206), a ausência de um centro gerador na composição geométrica tem uma razão bem distinta. Os elementos geométricos que a compõem são cópias exatas. Não têm qualquer tipo de variação proporcional entre si, nem conseguem despontar na estrutura qualquer tipo de força vetorial, que tão essencial é na existência de um centro gerador.

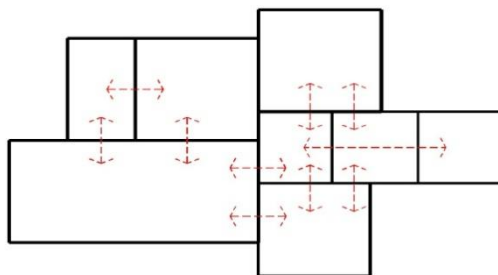


Fig. 204 – Multiplicidade de centros.

Na Casa Transparente e no Edifício Residencial Nblox, a constante variação de escala entre elementos adjacentes, gera inúmeros campos de força. Contudo, estes não coexistem com um objetivo comum, ou seja, os elementos não são dispostos na estrutura, segundo uma origem e uma cadência proporcional que acentue uma zona em particular.

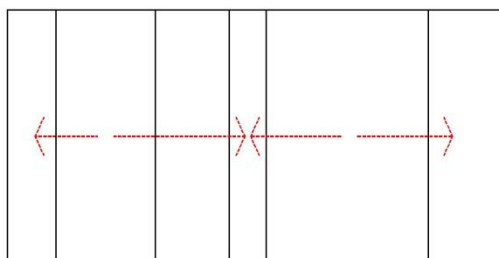


Fig. 205 – Cadências em anulação.

Os edifícios tradicionais de Amesterdão impõem uma cadência de elementos com variação proporcional. No entanto, não detêm um centro gerador, isto porque as variações proporcionais geram cadências opostas, que se anulam ou geram várias zonas de destaque em simultâneo.

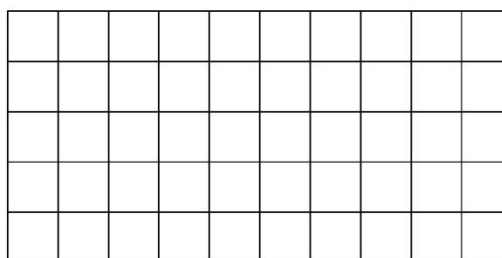


Fig 206 – Composição estática.

A Residência de estudantes em Amesterdão (Tempohousing) organiza a sua composição com cópias exatas de elementos regulares. O resultado é uma forma estática e rígida, sem qualquer Indício de campos de força.

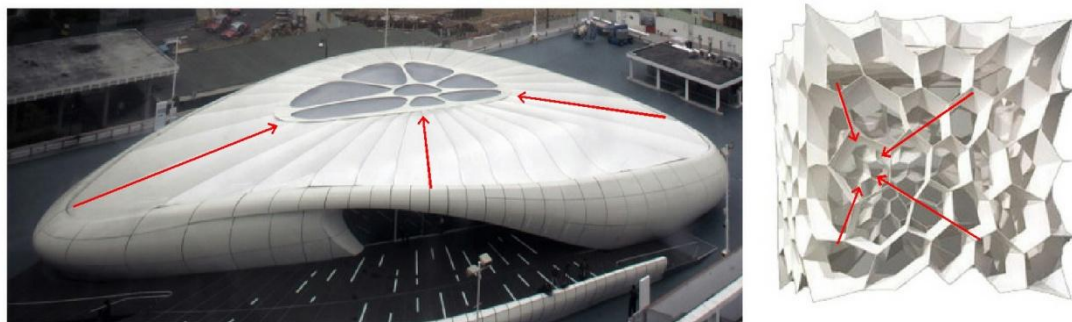
Exemplos com centro gerador

Apesar do centro gerador ser uma característica pouco frequente na composição geométrica das estruturas arquitetônicas mais atuais, exemplos há, desde os mais milenares aos mais atuais, em que a composição é estruturada mediante um centro. Os exemplos seguintes (fig. 207, 208 e 209) possuem um centro gerador e tornam claro, que o efeito de campo de forças gerado pela estrutura geométrica é muito dependente de uma cadência gradual de variação proporcional de elementos.



Catedral de Brasília - Oscar Niemeyer (esq.) e Pavilhão de investigação ICD/ITKE - Achim Menges (dir.).

Fig. 207 – Exemplos de estruturas geométricas com centro gerador coincidente com o centro geométrico.



Chanel Mobile Art Pavilion - Zaha Hadid (esq.), Pavilhão para Nova Arquitetura - BKK Architects (dir.).

Fig. 208 – Exemplos de estruturas com centro gerador não coincidente com o centro geométrico.



Igreja Borgund Stave, Templo Zhongxian, Pagoda Goose, Torre Chrysler (William Van Alen).

Fig. 209 – Exemplos de estruturas com centro gerador situado no limite da forma.

3.2.2.1.2 Níveis de expansão

Um centro gerador de uma estrutura viva, não existe isolado na envolvente. Este surge sempre envolto numa massa estrutural comum ao centro. Esta zona protege e afirma a exclusividade estrutural do centro, que se quer distinto de tudo o resto. Esta massa estrutural assume-se na composição como uma zona de transição, em que por um lado, cria uma clara separação entre centro e envolvente, mas que por outro, ajuda a estabelecer uma ligação entre ambos. São estas zonas de transição que se denominam de níveis de expansão (fig. 210).



Maçaroca de milho (esq.); Aurelia Aurita (centro) ; Malmequer (dir.).

Fig. 210 – Exemplos de zonas de transição (níveis de expansão) nas estruturas vivas.

Os propósitos dos níveis de expansão

Os níveis de expansão circundam o centro das existências com um duplo propósito. Um deles é intensificar a presença do centro gerador. A composição geométrica dos níveis de expansão deve despontar a presença do centro gerador, tornando claro o posicionamento deste na composição geométrica. O segundo propósito é ligar o centro à envolvente além do seu limite, de modo a tornar a composição estrutural inseparável daquilo que a rodeia. Para tal, é necessário que ocorram três factos. Primeiro, os níveis de expansão têm que ser diferentes do centro gerador. Segundo, o limite deve manter o centro gerador distinto e separado da envolvente. Terceiro, os níveis de expansão devem ter a capacidade de unir o centro gerador com a envolvente. Portanto, estes níveis devem envolver, fechar, separar e unir os centros das estruturas da envolvente (fig. 211).

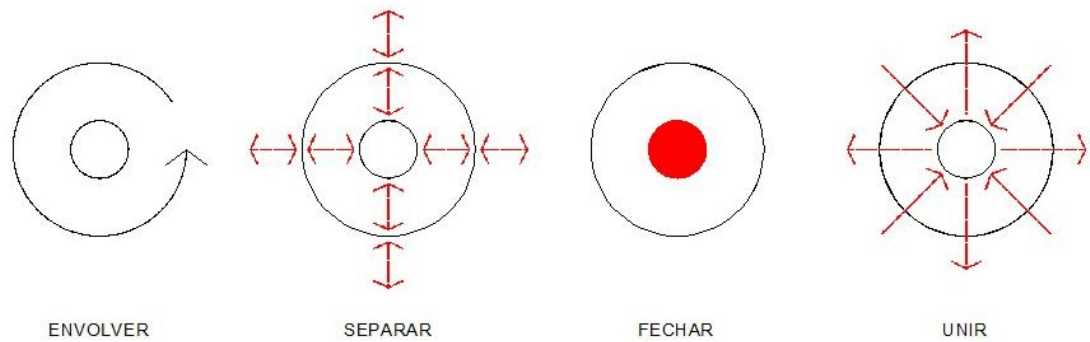


Fig. 211 – A função dos níveis de expansão – Envolver (circundam na totalidade o centro da estrutura), separar (fazem a separação entre o centro e a envolvente, fechar (isolam o centro de tal modo que o tornam único face ao que o rodeia) e unir (unem o centro à envolvente).

Ordem de magnitude dos níveis de expansão _ relação proporcional centro / níveis de expansão.

As estruturas vivas expandem-se a partir de um centro. Isto significa, que a expansão e o centro são indissociáveis. E esta dependência é de tal maneira intensa, que pode ser traduzida em ordens de grandeza. Alexander é o único dos autores referenciados, a destacar este tipo de qualidade geométrica nas estruturas vivas, sob a ideia de limite (ver ponto 2.3.1.1). O autor defende que as estruturas vivas têm um limite com a mesma ordem de grandeza que o centro que circunscrevem (fig. 212). Esta relação proporcional parece verificar-se facilmente em algumas das estruturas, mas outras há, sobretudo se a análise for feita em termos moleculares, em que a ordem de grandeza não se verifica (fig. 213).

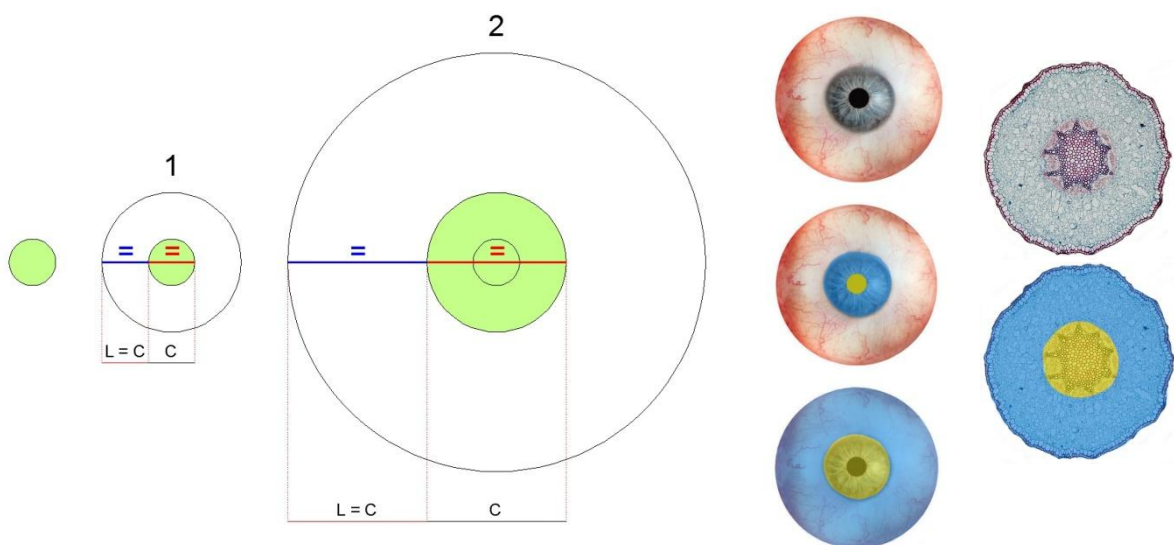


Fig. 212 - Relação de proporção entre o centro e o limite com uma ordem de grandeza de 1/1 (esq.) Exemplificação da ordem de grandeza num glóbulo ocular humano e na secção de transversal de uma Aegbopsis chevalieri swingle (dir.)

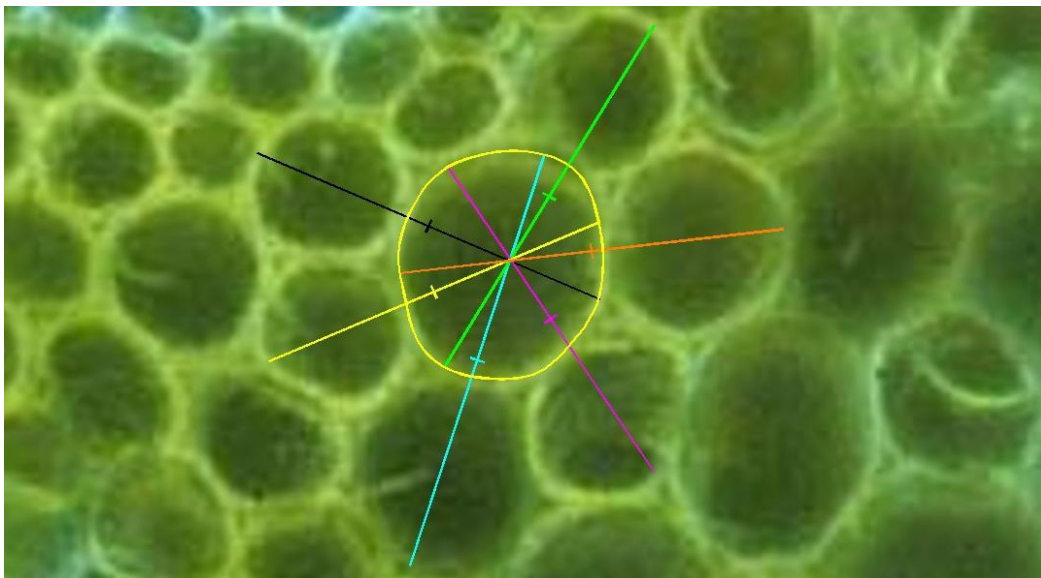


Fig. 213 – Demonstração a nível molecular, das ordens de grandeza entre centro e limite propostas por Alexander. Os acidentes entre elementos estruturais raramente estão situados no eixo dos segmentos de reta coloridos, o que demonstra que uma ordem de grandeza de 1/1 não é aplicável nestes casos.

Portanto, se uma estrutura viva organiza-se, mediante relações proporcionais por recursividade, este tipo de relação deveria verificar-se deste o estado inicial da composição. No entanto, tal não sucede. Este tipo de relação proporcional por recursividade entre centro e níveis de expansão apresenta uma maior consistência quando interpretada mediante as ordens de grandeza da proporção áurea (ver ponto 3.2.1.2). Tanto a nível molecular (fig. 214), como a nível da proporção geral da composição (fig. 215), a deteção de níveis de expansão mediante o método de divisão da proporção áurea, é bastante consistente. Em ambas as situações, verifica-se que a dimensão da forma inicial tem sempre influência na definição da ordem de grandeza dos níveis de expansão que lhe seguem.

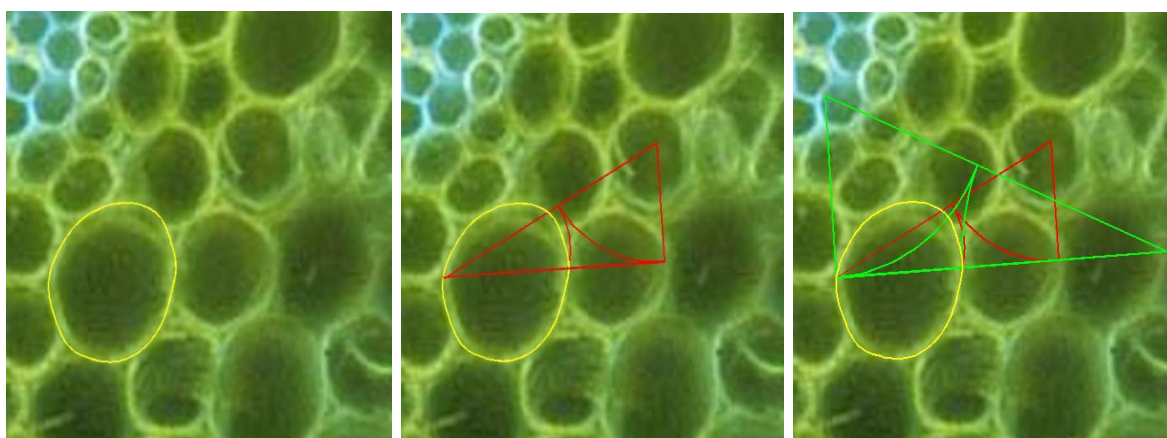


Fig. 214 – Demonstração do efeito de recursividade das ordens de grandeza numa estrutura Molecular, através do método de divisão geométrica da proporção áurea.

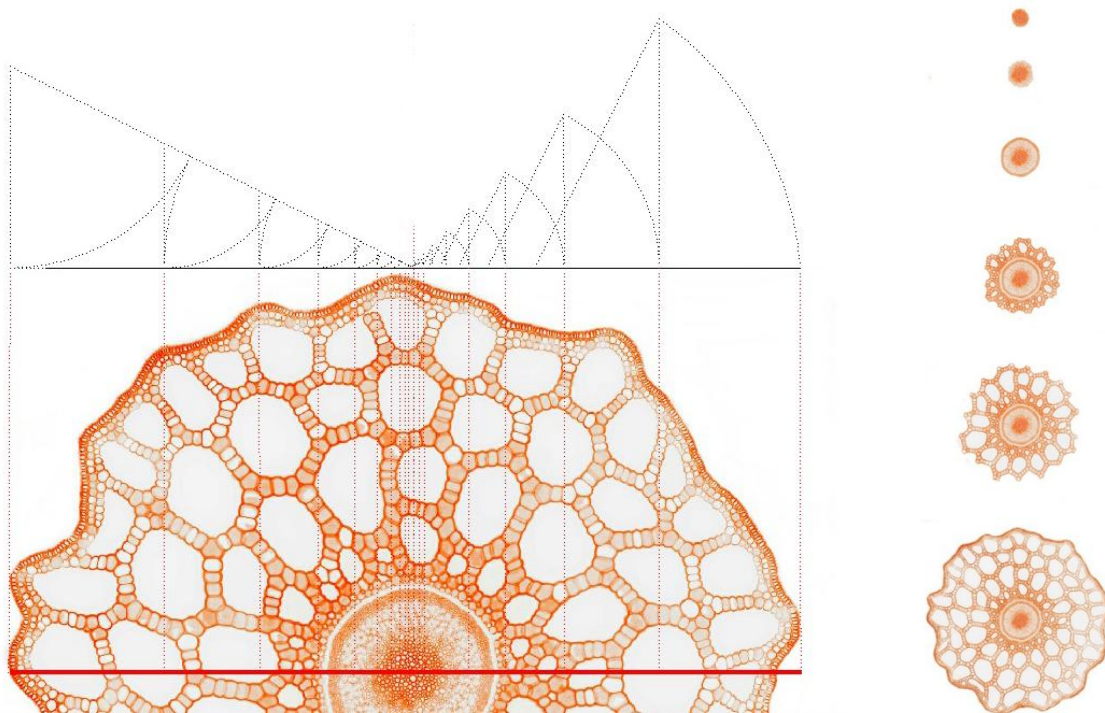


Fig. 215 – *Hippuris* stem calcofluor small – corte transversal.
Representação geométrica dos níveis de expansão (esq.) e representação gráfica da composição em algumas fases da sua expansão (dir.), mediante a proporção áurea.

Face à consistência apresentada pelo método de divisão geométrica da proporção áurea, no que respeita à deteção dos níveis de expansão nas estruturas vivas, esta será tomada como base referencial na definição das relações proporcionais entre níveis de expansão e centro, a aplicar no processo de desenho a desenvolver por esta investigação.

No entanto, com que ordem de grandeza se processa a relação proporcional entre o centro e os níveis de expansão? A ordem de grandeza do nível de expansão está sempre proporcionalmente relacionada com a ordem de grandeza do centro, mais precisamente cerca de $\frac{2}{3}$ do diâmetro do centro (fig. 216 – esq.). Contudo, esta relação proporcional mediante o diâmetro do centro, apenas ocorre na definição da ordem de grandeza do nível de expansão que sucede a forma inicial da composição. Os restantes níveis de expansão devem ser interpretados segundo uma lógica de simetria repartida. Como é possível verificar na fig. 216, a ordem de grandeza dos elementos que circundam a forma inicial, estão proporcionalmente relacionados com esta. Este facto demonstra que o eixo de simetria não coincide com o centro de geração dos níveis de expansão, mas que esse eixo é o próprio elemento inicial. E sendo um elemento com uma determinada dimensão, esta tem que ser tomada em conta em todas as direções em que se expande. Portanto, a ordem de grandeza do centro inicial, será sempre um referencial fixo no cálculo dos níveis de expansão. Mas não só. A relação centro e níveis de expansão são mutáveis. Cada nível de expansão tem também como centro referencial a ordem de grandeza do último nível de expansão que o antecede. Assim sendo, $\frac{2}{3}$ da dimensão do diâmetro do centro

inicial mais a dimensão, medida em raio, entre o perímetro do centro inicial e o perímetro do último nível de expansão (fig. 217), deve ser a ordem de grandeza referencial no cálculo de cada um destes níveis.

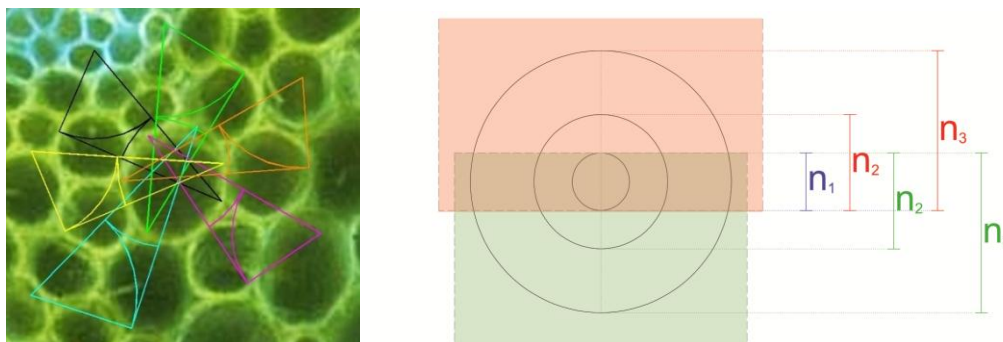


Fig. 216 – Influência da ordem de grandeza do centro inicial no cálculo dos níveis de expansão que se seguem.

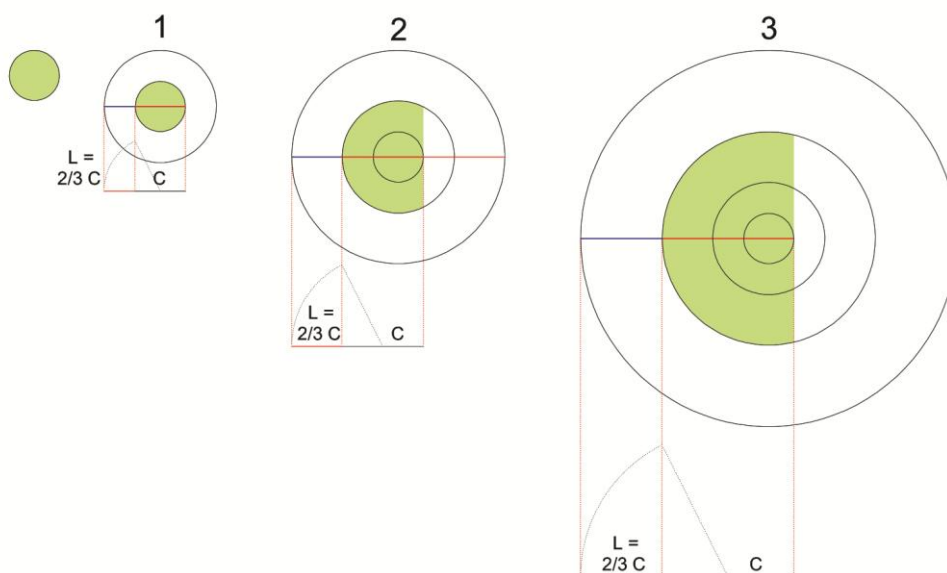


Fig. 217 – Exemplificação do cálculo das ordens de grandeza dos diversos níveis de expansão referenciada na proporção áurea.

Níveis de expansão nas estruturas humanas de caráter arquitetónico

Esta qualidade geométrica, apesar de cada vez mais rara, também existe em algumas estruturas de caráter arquitetónico. Para se entender o modo como influenciam a estruturação de uma composição geométrica arquitetónica, esta característica será abordada de duas maneiras distintas. Uma, demonstrando que tipo de decisões de essência geométrica anulam a sua presença nas estruturas arquitetónicas e outra, demonstrando as variantes com que emerge nesse mesmo tipo de estruturas.

- Exemplos de estruturas humanas de caráter arquitetónico sem níveis de expansão.

Atualmente, a larga maioria das estruturas de caráter arquitetónico, impõem a sua distinção física na envolvente pela separação e não pela união. A rigidez com que estas estruturas interagem com a envolvente, está fortemente relacionada com a inexistência de zonas de transição entre o centro da composição e a envolvente. São em grande parte, as decisões de essência geométrica, que podem quebrar ou impedir que uma composição geométrica derive de um centro e por consequência não detenha uma zona de transição. As decisões geométricas que invalidam esta qualidade, podem ser resumidas a pelo menos três: a transponibilidade estrutural gerada pela quebra de continuidades dos elementos, a repetição continuada de elementos iguais e a variabilidade proporcional dos elementos sem cadência progressiva.

1 - Quebra de continuidade dos elementos geométricos

Uma das particularidades do centro gerador é ser destacado. Portanto, isto requer que a zona de transição o isole e o torne intransponível. Para que assim seja, os elementos geométricos têm que formar continuidades inquebráveis que não permitam a sua perturbação. Se tal não suceder, os elementos dispersam-se no espaço e a estrutura geométrica que os suporta entra em rotura, pois torna-se transponível. Portanto, a quebra de continuidade geométrica, rompe com a coesão estrutural da composição, não permitindo a afirmação de um centro coletivo, mas sim, o surgimento de vários centros individualizados. Este facto é suficiente para inviabilizar a criação de uma zona de transição comum, que os una à envolvente (fig. 218, 219 e 220).

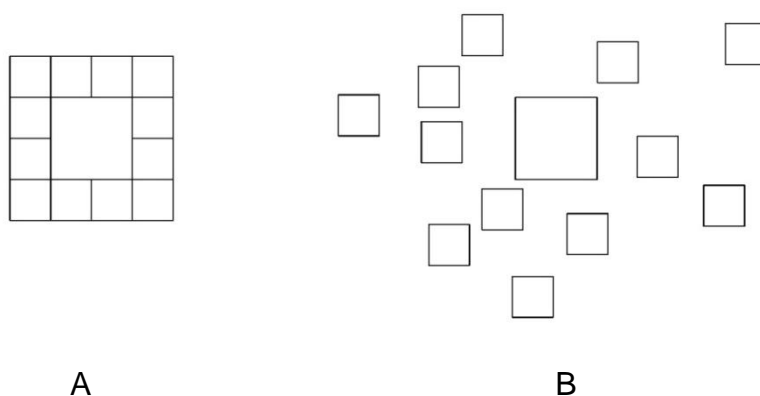
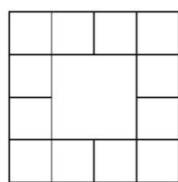
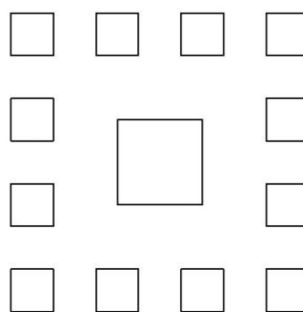


Fig.218 – Comparação entre composições com e sem quebra de continuidade dos elementos geométricos _ dispersão aleatória dos elementos.

(A) - Exemplo de como a continuidade inquebrável de elementos geométricos, é de extrema importância para intensificar um centro coletivo e respetivo limite. (B) – Exemplo de como a quebra de continuidade geométrica retira o efeito de força vetorial à composição, tal como sucede na figura A. O que era o centro perde relevância na composição, pelo simples facto, de surgirem outros centros individualizados a interferir e a disputar a mesma relevância.

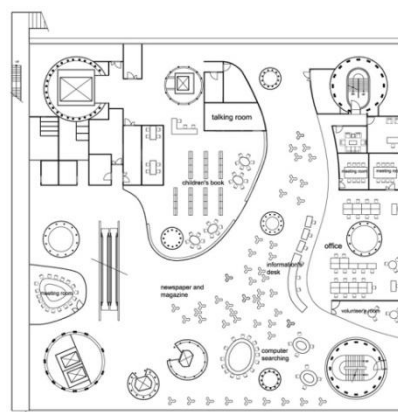


A



B

Fig. 219 – Comparação entre composições com e sem quebra de continuidade dos elementos geométricos _ dispersão homogênea dos elementos. Mesmo que os elementos de uma composição, sejam dispostos com o intuito de gerar forças vetoriais (B), a quebra de continuidade entre os mesmos, é suficiente para de intensificar a presença do centro pela desagregação do limite associado ao mesmo.



Museu Century em Kanazawa – Toyo Ito



Mediateca de Sendai – SANAA

Fig. 220 – Exemplos de estruturas arquitetônicas, com quebras de continuidade por parte dos elementos geométricos que a compõem. Os elementos encontram-se dispersos e circunscritos por uma unidade geométrica principal. A disposição espacial dos mesmos, não gera nenhum campo vetorial que intensifique uma zona específica da forma. Esta é totalmente transponível e os seus elementos são individualizados por independência e não pela dependência geométrica de outros. O resultado são estruturas pouco coesas, cuja distinção estrutural impõe-se na envolvente pela separação.

2 - Quebra por repetição exata de elementos

Numa estrutura geométrica resultante da combinação de elementos geométricos iguais, não é possível determinar centros nem níveis de expansão. Todos os elementos apresentam-se na estrutura com igual intensidade e protagonismo. Nada desponta qualquer tipo de relevância. A homogeneidade é total (fig. 221 e 223). Nem mesmo quando os elementos são posicionados no espaço com o intuito de gerar uma estrutura com força vetorial, a intensidade do que se quer como centro, não possui um destaque clarividente. O olhar pode ser encaminhado para a zona pretendida, mas não fica preso a esta (fig. 222 e 224). Portanto, se não é possível identificar com clarividência na estrutura um centro, também não é possível perceber o que nesta se poderá interpretar como nível de expansão.

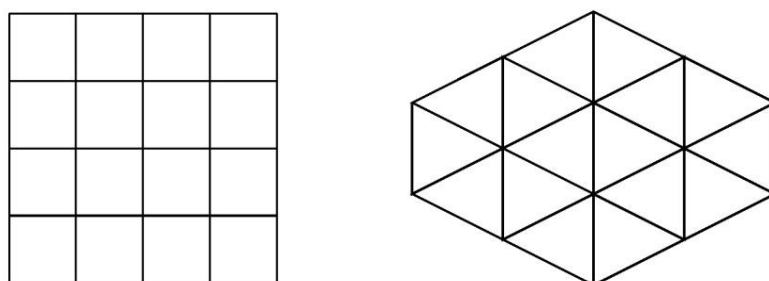


Fig. 221 – Composições geométricas com elementos estruturais iguais.
Nestas estruturas, não é possível perceber qualquer tipo de protagonismo estrutural por parte dos elementos.
Todos eles existem na estrutura com a mesma intensidade e importância.

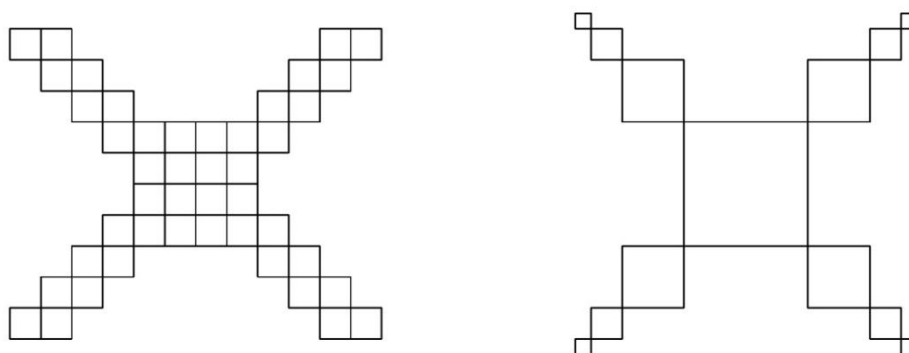
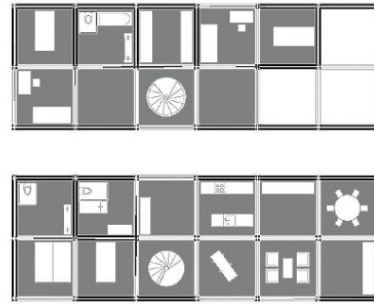


Fig. 222 – Falso campo vetorial.

Mesmo que o posicionamento espacial de elementos iguais (esq.) tente invocar forças vetoriais na composição, estes não fixam o olhar numa zona da composição com a mesma intensidade que o fazem quando estes estão distribuídos em cadência progressiva (dir.).



Villa de Beroun – HSH architects



Spacebox the Utrecht – Mart de Jong

Fig. 223 – Composições arquitetônicas por repetição de elementos estruturais. A repetição metódica do mesmo elemento por toda a estrutura, não realça nenhuma zona em particular da composição. Os elementos demonstram ser centros individualizados e independentes da restante estrutura, porque acarretam o mesmo peso, protagonismo e importância na mesma, não permitindo assim, discernir a origem do centro e o que delimitar.



Pavilhão na Serpentine Gallery 2013 - Sou Fujimoto

Fig. 224 – Falso campo vetorial em composição arquitetônica. Este edifício é um exemplo de como um conjunto de elementos geométricos iguais distribuídos no espaço mediante uma determinada sequência posicional, podem iludir a presença de um centro. O olhar pode ser encaminhado para uma determinada área da estrutura, mas este não consegue fixar-se em nenhum ponto específico. Essa indecisão pode convidar o olhar a dispersar para uma zona distinta da estrutura, que não a do suposto centro.

3 - Quebras por variação proporcional sem continuidade gradual

Como já referenciado no ponto 3.2.2.1 (centro gerador), a intensificação de uma zona da composição geométrica, depende do efeito de gradação contínuo dos elementos geométricos. A

inexistência de um centro significa que os vários elementos coexistem na estrutura geométrica sem um propósito comum, pois disputam entre si, uma posição de relevância estrutural. Assim sendo, quantos mais elementos forem introduzidos na estrutura sem desencadear uma lógica de cadência progressiva, mais elementos irão competir ou partilhar a atenção na mesma. Portanto, esses elementos não poderão fazer parte de uma composição geométrica de uma zona de transição, porque os próprios, destacam-se em favor da individualidade e não do coletivo (fig. 225 e 226).

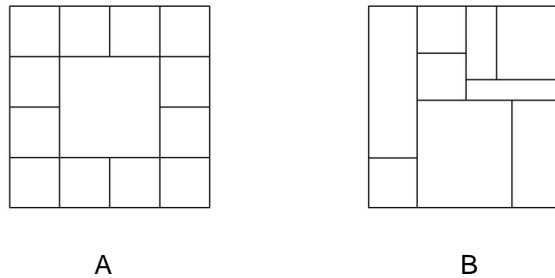
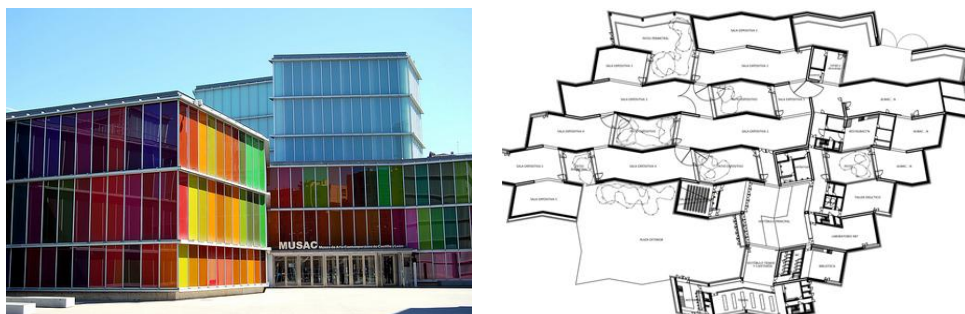


Fig. 225 – Comparação entre composições sem e com quebras por variação proporcional.
 (A) - composição geométrica, cuja disposição espacial dos elementos segue uma cadência progressiva.
 (B) – composição geométrica em que a disposição espacial dos elementos, refletem variações de proporção numa sequência aleatória.

No primeiro caso, é facilmente perceptível que os diversos elementos coexistem na estrutura com um propósito comum, intensificar o centro. O mesmo já não sucede no segundo. Este revela uma intensa luta pela afirmação individual de cada elemento.



De Kunstlinie – SANAA



MUSAC – Mansilla y tunon

Fig. 226 – Ausência de cadências progressivas, por quebras de variação proporcional em estruturas arquitetônicas. Em ambos os edifícios, a variação de proporção dos elementos, não segue uma cadência gradual. Isto torna a composição desprovida de um centro, pois a disposição espacial dos elementos, não tem um propósito comum. Apesar da coexistência dos mesmos refletir uma perfeita “arrumação” geométrica, a sua presença na estrutura revela um forte propósito individual e um fraco propósito coletivo.

- Exemplos de estruturas humanas de caráter arquitetônico com níveis de expansão

A principal característica geométrica, que ressalta de imediato numa estrutura geométrica com níveis de expansão, é a presença de um centro gerador. Existe uma zona da forma que é destacada por todos os elementos geométricos da composição. Contudo, os exemplos arquitetônicos que contêm esta particularidade geométrica, não detêm a mesma ordem de valores que as estruturas vivas, entre centro e níveis de expansão. Esta divergência de valores, não põe em causa a existência desta particularidade geométrica nas composições arquitetônicas. Apenas e só lhe retira intensidade de força vetorial, como é possível observar na fig 227.

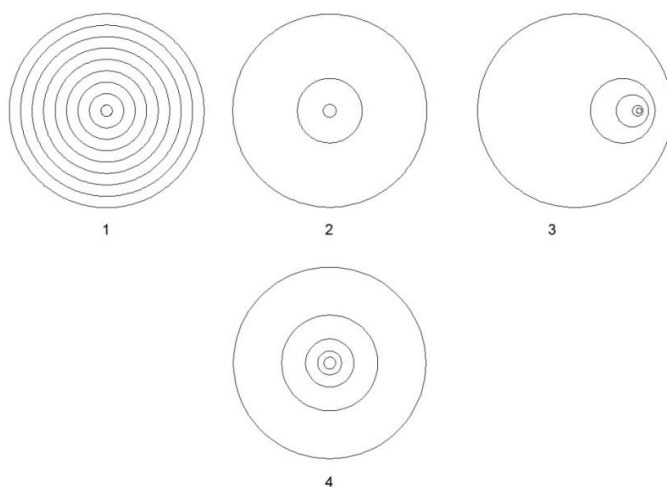


Fig. 227 – Diferença de intensidade do centro gerador, entre as ordens de grandeza das estruturas vivas (4) e outras de origem aleatória (1, 2, 3). A intensidade ao centro, gerada pela variação proporcional do compasso existente entre os diversos níveis de expansão da figura 4, é mais forte que os gerados pelas restantes figuras. A leitura do limite para o centro é clara e gradual, sem áreas que possam originar paragens na leitura rítmica dos níveis (figuras 2 e 3), ou possam despontar uma quebra direcional, devido à homogeneidade compacta dos níveis de expansão (figura 1).

As aproximações arquitetônicas mais frequentes às relações de proporcionalidade entre centro gerador e níveis de expansão das estruturas vivas podem ser resumidas a pelo menos três tipos: a repetição sistemática de uma grandeza ao longo dos diversos níveis de expansão, a alternância de grandeza nas relações proporcionais entre centro e limite e a coexistência, de pelo menos dois tipos de relação proporcional entre centro gerador e nível de expansão, em cada novo nível.

1 - Repetição da mesma grandeza

Cada nível de expansão acrescido à forma inicial da composição repete a ordem de grandeza da relação proporcional do primeiro nível (fig. 228, 229 e 230). Esta relação

proporcional, não reflete na estrutura, o fenômeno de mutabilidade entre centro e nível de expansão existente nas estruturas vivas.

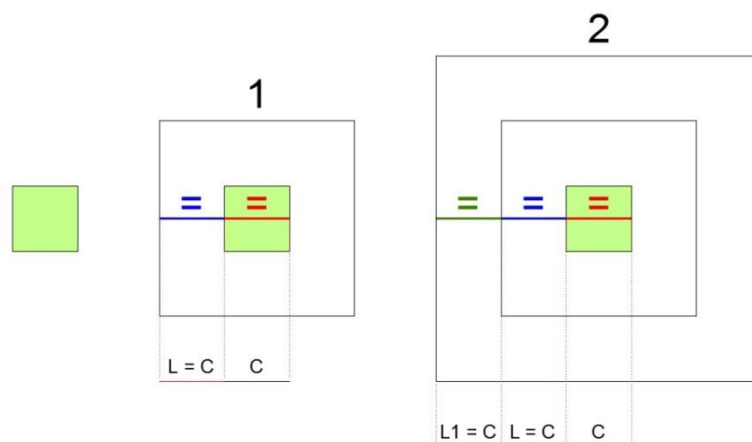


Fig. 228 - Exemplificação gráfica das relações proporcionais entre centro e níveis de expansão.

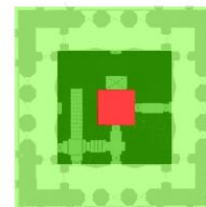
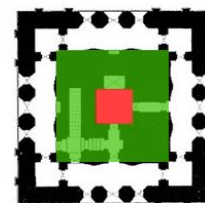
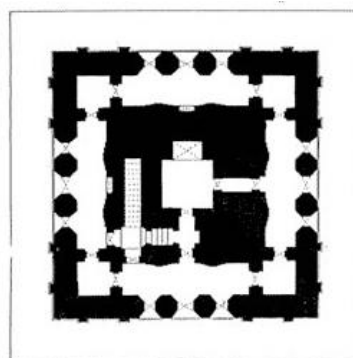
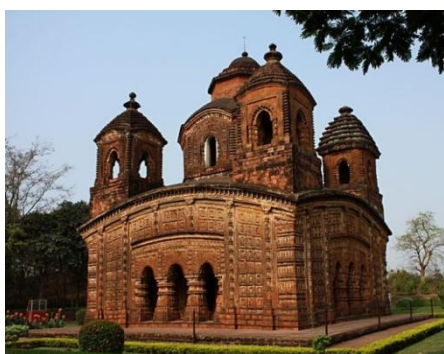


Fig. 229 – Níveis de expansão no Templo Shyamrai em Bishnupur. A expansão da estrutura geométrica, tem sempre como referência, a ordem de grandeza do centro inicial.

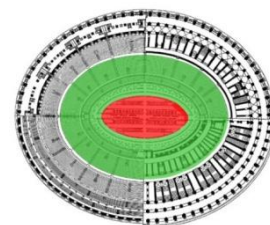
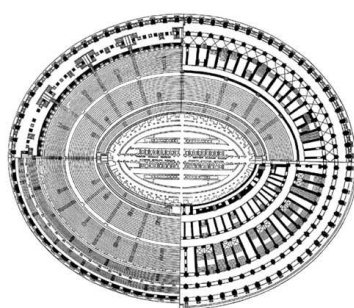


Fig. 230 – Níveis de expansão no Coliseu de Roma. A expansão da estrutura reflete sempre a ordem de grandeza do centro inicial, nível após nível.

Os níveis de expansão pela repetição da mesma grandeza, também podem apresentar-se com outra variante. Neste caso, os níveis de expansão têm sempre a mesma ordem de grandeza que o centro, mas este, nesta variante é sempre constituído pelo centro inicial e por todos os níveis de expansão existentes na estrutura anterior à geração do novo nível (fig. 231 e 232).

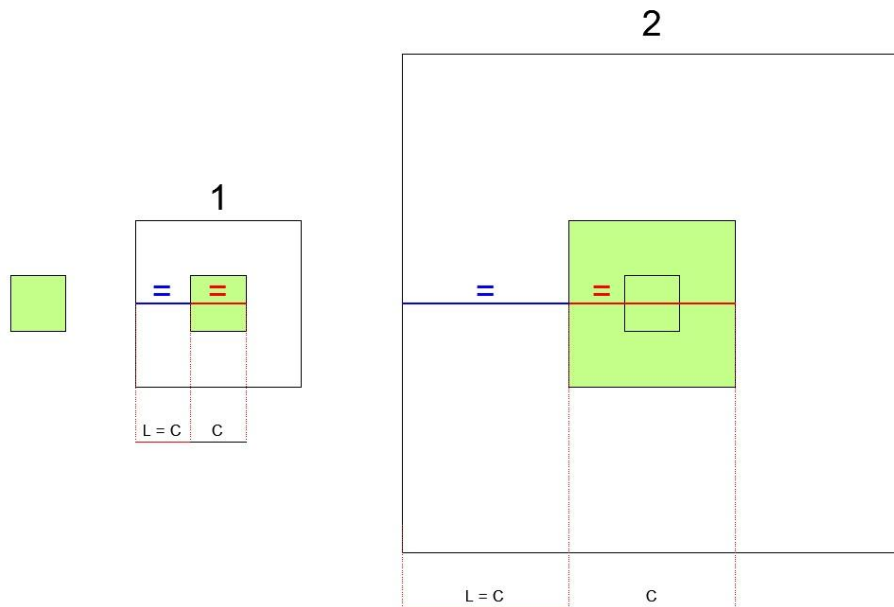


Fig. 231 – Exemplificação gráfica das relações proporcionais entre centro e níveis de expansão.

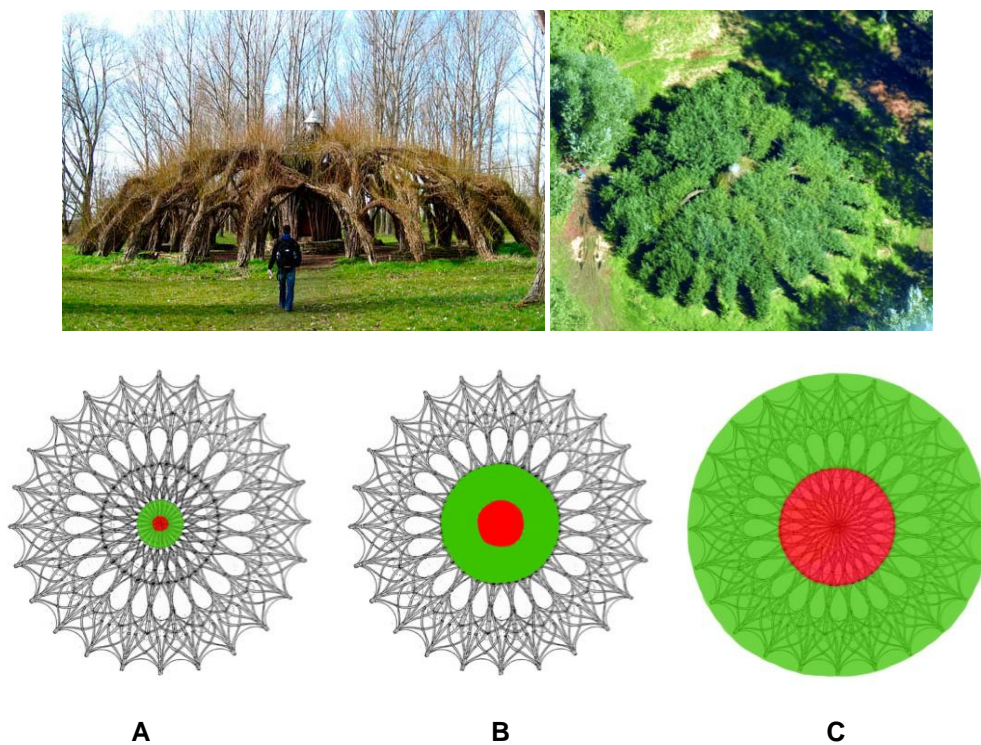


Fig. 232 – Níveis de expansão no Auerworld Palace. A estrutura geométrica apresenta níveis de expansão em que a ordem de grandeza dos níveis de expansão, é igual à do centro gerador. Esta regra de variação, proporcional é aplicada nos diferentes níveis de expansão (A, B e C).

2 - Alternância de relações de grandeza

Os diversos níveis de expansão que são acrescentados à forma inicial da composição, não advêm sempre da mesma relação proporcional centro / nível de expansão. Os níveis de expansão, ou refletem a ordem de grandeza total do centro ou refletem a metade do mesmo. Estas relações de proporcionalidade podem ser repetidas alternadamente, ou noutro tipo de cadência rítmica em cada acréscimo estrutural (fig. 233 e 234).

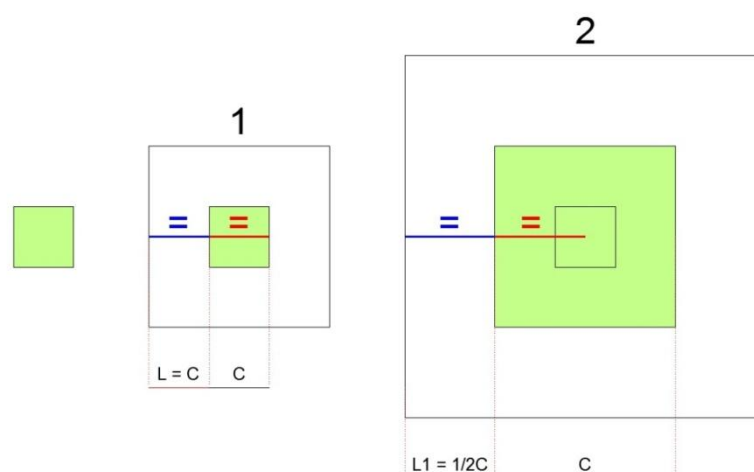


Fig. 233 – Exemplificação gráfica das relações proporcionais entre centro e níveis de expansão.

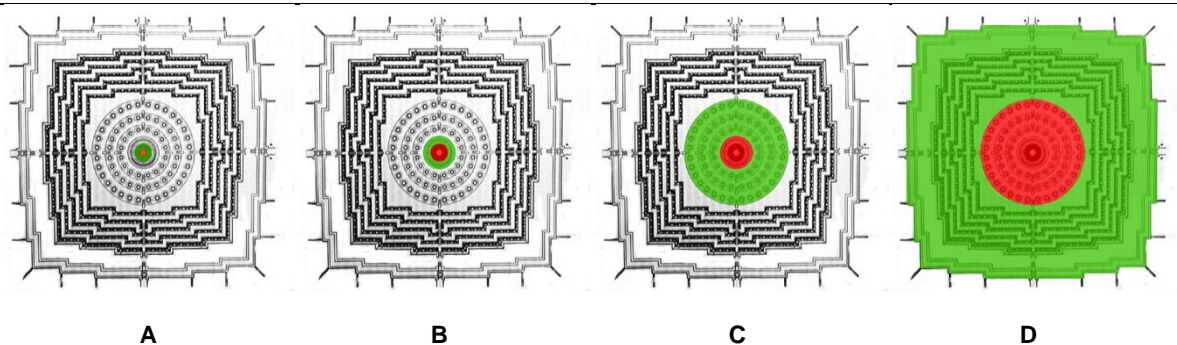


Fig. 234 – Níveis de expansão no Templo Borobudur. A composição alterna duas regras de expansão proporcional entre centro gerador e nível de expansão. Em A, o limite reflete a mesma ordem de grandeza do centro. Em B, o limite já apresenta metade da ordem de grandeza do centro, voltando a refletir em C, a totalidade da ordem de grandeza do centro. Em D, volta novamente a refletir a metade da ordem de grandeza do centro.

3 - Coexistência de mais que uma relação de grandeza em cada nível de expansão

A relação proporcional centro / nível de expansão apresenta mais que uma ordem de grandeza na envoltória espacial que faz ao centro. O nível de expansão, não envolve o centro sempre com a mesma relação proporcional. Cada um possui mais que uma ordem de grandeza mutável e aleatória, mas sem nunca deixar de envolver o centro na totalidade (fig. 235 e 236).

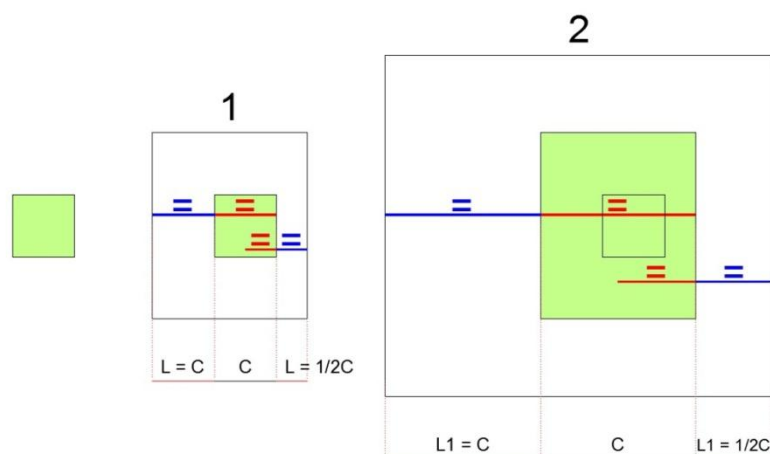


Fig. 235 - Exemplificação gráfica das relações proporcionais entre centro e níveis de expansão.

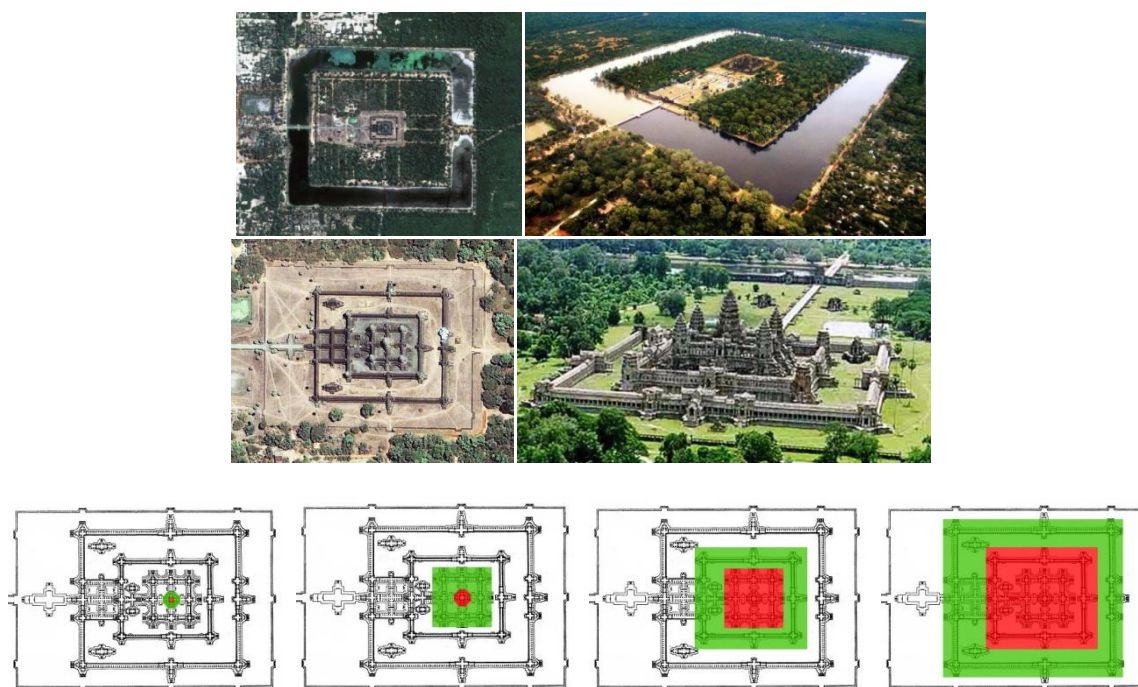


Fig . 236 – Níveis de expansão no templo Angkor. Esta estrutura detém uma composição com níveis de expansão com mais que uma relação proporcional face ao centro. No primeiro nível de expansão, a ordem de grandeza é regular, ou seja, o centro é envolto por uma massa estrutural com uma ordem de grandeza sempre constante. Já no segundo e terceiro nível de expansão, a ordem de grandeza muda. Um mesmo nível de expansão envolve o centro com duas ou mais ordens de grandeza ao longo do seu perímetro.

3.2.2.2 REPETIÇÃO

As estruturas vivas constroem-se pela repetição. É inegável que a repetição de elementos é uma variável constante em qualquer tipo de estruturas vivas. Sempre que as suas composições geométricas são percorridas pelo olhar, existe sempre uma sensação de “déjà vu” (fig. 237). Fica-se com a ideia de que algo já foi visto anteriormente. Contudo, esta repetição tem uma particularidade, não é uma repetição simples de elementos iguais em sucessão. Esta repetição detém exclusividade espacial.



Fig. 237 – Exemplos de repetição nas estruturas vivas.
As estruturas recorrem ao mesmo tipo de elementos estruturais ao longo das suas composições.

Exclusividade espacial

As estruturas vivas, são totalmente separadas da envolvente. Contudo, a separação pela exclusividade não é apenas uma particularidade da composição geométrica. Ela está também na essência dos elementos estruturais. O espaço que estes comportam, é substancial em si mesmo. Não resultam de outras, nem dão corpo a outras. As suas formas são fechadas e presas nas suas próprias regras, com limites bem definidos e perfeitamente distinguíveis dos elementos estruturais que o circunscvem (fig. 238). É esta capacidade de afirmação pela distinção, que se define por exclusividade espacial.



Fig. 238 – Exemplificação da individualidade de cada elemento estrutural.
Os elementos demonstram com bastante clarividência, a sua posição e o seu espaço na composição geométrica.

Quando a exclusividade espacial está presente em todos os elementos estruturais da composição, os espaços entre estes formam continuidades inquebráveis. Veja-se o exemplo da mandioca de milho (fig. 239). Cada grão cresce ao lado de tantos outros, mas nunca é parte do outro. Cresce em si mesmo e sempre com limites bem definidos. No entanto, os seus limites são totalmente dependentes dos limites dos outros que o envolvem. Por esta razão, a sua combinação torna-se tão inquebrável e coesa. É com esta relação entre independência geométrica interna e dependência geométrica externa, que as estruturas vivas geram a sua forte “cola” estrutural.

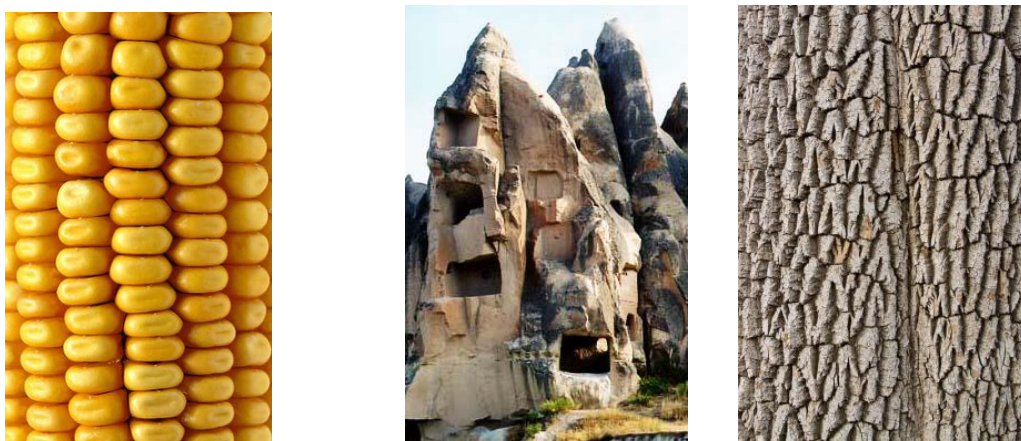


Fig. 239 – Comparação entre formas com e sem exclusividade espacial.

Apesar de distintas, a maçaroca de milho (esq.) e a casca de árvore (dir.), têm algo que a estrutura das “Rock Houses” (centro) não possuem _ legibilidade estrutural e separação por continuidade. Nesta estrutura, não é fácil identificar os elementos estruturais que a compõem. A razão para tal, deve-se essencialmente a dois motivos. Primeiro, não é possível delimitar com clareza cada um dos seus elementos, isto porque, os limites dos mesmos encontram soluções sem retorno à origem. Segundo, os elementos possíveis de delimitar, não são simultaneamente dependentes dos que o circundam. Tudo parece desagregado e quebrado, tornando a leitura da estrutura pouco clara e precisa. O resultado é uma composição geométrica sem exclusividade espacial.

Para que a exclusividade espacial se manifeste numa estrutura viva, os seus elementos estruturais têm que contemplar um conjunto de qualidades geométricas. Esta requer contraste, de modo a ser possível determinar com exatidão os limites de cada elemento estrutural, requer simetrias locais, para quebrar a continuidade linear das malhas estruturais e requer simplicidade estrutural, ou seja, as estruturas vivas apenas devem conter os elementos estruturais necessários à sua geração. Se estas três qualidades geométricas emergirem, em simultâneo, em todos os elementos estruturais, estas despontam uma outra característica, a rugosidade (fig. 240).

EXCLUSIVIDADE ESPACIAL

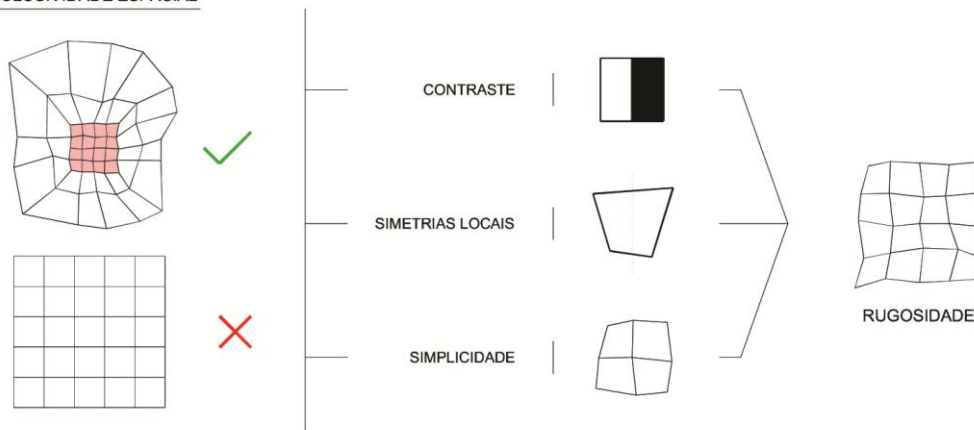


Fig. 240 – As qualidades geométricas implícitas na exclusividade espacial.

3.2.2.2.1 Contraste

O contraste é uma das características mais importantes para a percepção de forma no espaço. É necessário para uma clarividência funcional e cognitiva, porque confere distinção, propriedade esta, fundamental para o reconhecimento e experimentação das diferentes dimensões do espaço (fig. 241).



Interior de habitação tradicional japonesa (esq.), Interior do Centro Rolex (Sanaa) (dir.)

Fig. 241 – Demonstração da importância do contraste na leitura de um espaço. Numa casa tradicional japonesa, a clara demarcação dos limites dos elementos estruturais, permite que o espaço seja lido de um modo claro. No Rolex Learning Center, a leitura do espaço não é tão clara. Os limites dos elementos, não são fáceis de perceberem. Existe mais um efeito de gradação de tons que uma forte oposição. O resultado é a perda de legibilidade do espaço.

Todos os sistemas naturais obtêm a sua organização e energia da interação de opostos. As estruturas vivas não são exceção. Elas não existem sem diferenciação. Estas estruturas, não só utilizam a oposição para se afirmar na envolvente, como também se constroem totalmente por oposição. Todos os seus elementos são perfeitamente legíveis e detetáveis, o que significa que têm mesmo que ser concebidos em oposição a algo (fig. 242).



Fig. 242 – As estruturas vivas opõem-se à envolvente (esq.) e constroem-se por oposição (dir.).

O contraste requer sempre uma alternância entre dois sistemas de elementos opostos. Um sistema de elementos tem que obrigatoriamente envolver o sistema de elementos a que se opõe. Quando assim não acontece, o contraste falha. Sem a inexistência de quebras bem explícitas, não é possível identificar os elementos, o que influenciará a legibilidade da forma que estruturam (fig. 243).



Casa de cor (esq.), Museu de Arte Weisman Frank Gehry (dir.).

Fig. 243 – Exemplo de estruturas arquitetônicas com e sem alternância de opostos.

A casa de cor é um exemplo de alternância de dois sistemas opostos. Independentemente da cor dos elementos, estes são sempre circunscritos por outros de cor preta. Esta dualidade de opostos permite identificar todos os elementos que compõem a fachada, o que facilita a legibilidade da composição. No caso do Museu de Arte Weisman, a legibilidade da composição não é fácil. Não é possível delimitar grande parte dos seus elementos, por estes não evidenciarem claramente o que são. Esta ilegibilidade deve-se à ausência de um sistema de elementos opostos, que defina claramente o espaço que cada um destes ocupa na composição.

No entanto, quando se fala em oposição, esta tem mesmo que refletir opostos. Têm mesmo que ser drásticos e implacáveis. O contraste pela variedade formal (alto/baixo, estreito/largo, suave/duro, rugoso/liso) não é suficiente. A oposição tem que ser mais violenta. Os opostos têm que se opor aniquilando-se (fig. 244).

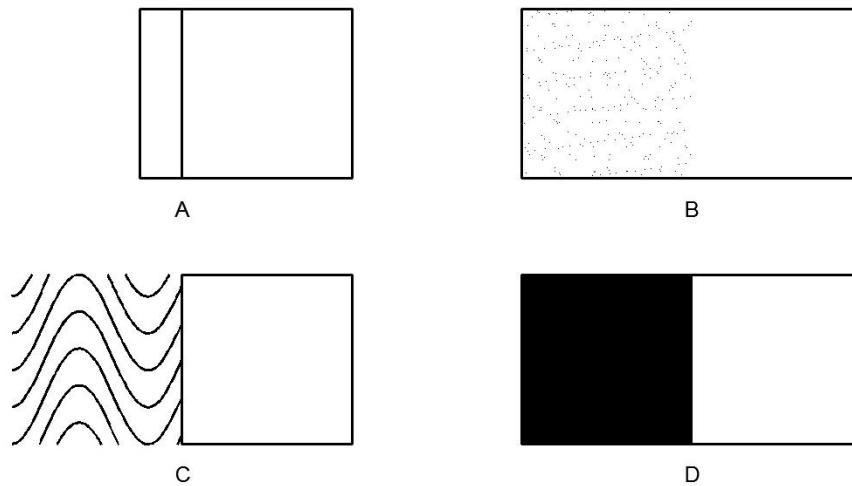


Fig. 244 – Imponência dos contrastes.

O contraste por variedade formal – (A) estreito/largo, (B) rugoso/liso – não é suficientemente violento para criar uma forte oposição. O contraste necessita de uma oposição cujos opostos se aniquilem – (C) dinâmico/calmo, (D) preto/branco.

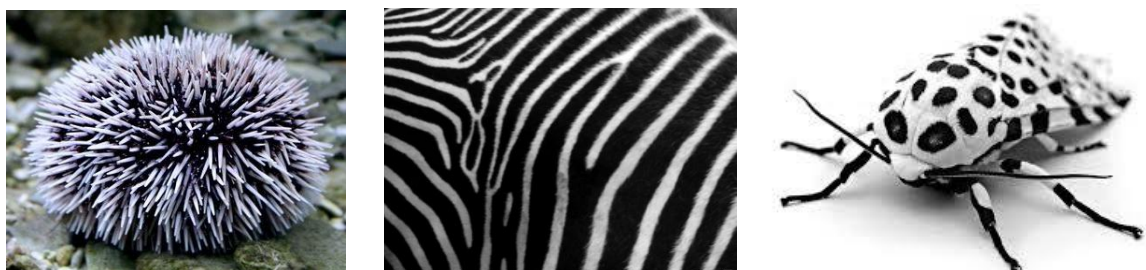
As estruturas vivas, aplicam frequentemente dois tipos de contraste: Contraste por tonalidade e contraste por variação estrutural. O primeiro tipo, está relacionado com as conjugações de cor predominantes nas suas estruturas, enquanto o segundo está relacionado com irregularidades estruturais presentes nos substratos físicos dessas mesmas estruturas.

1 - Contrastes por tonalidade

Os contrastes por tonalidade mais usuais podem ser divididos em três grupos: contraste pela oposição preto / branco, contraste pela oposição claro / escuro e contraste por oposição com cores primárias.

1.1- Contraste por oposição preto / branco

Não sendo o tipo de contraste por oposição mais usual dos três, acaba por ser um dos mais imponentes, justamente pelas relações de tonalidade com a envolvente (fig. 245).



Ouriço do mar (esq.), Pele de zebra (centro), Borboleta branca (dir.).

Fig. 245 – Exemplos de estruturas vivas definidas com contraste por oposição preto / branco.

1.2 – Contraste por oposição claro / escuro.

Este tipo de oposição é frequente e encontra-se nas estruturas vivas mediante dois tipos de combinações: oposição com diferentes cores e oposição com diferentes tonalidades da mesma cor

1.2.1 - Oposição com diferentes cores

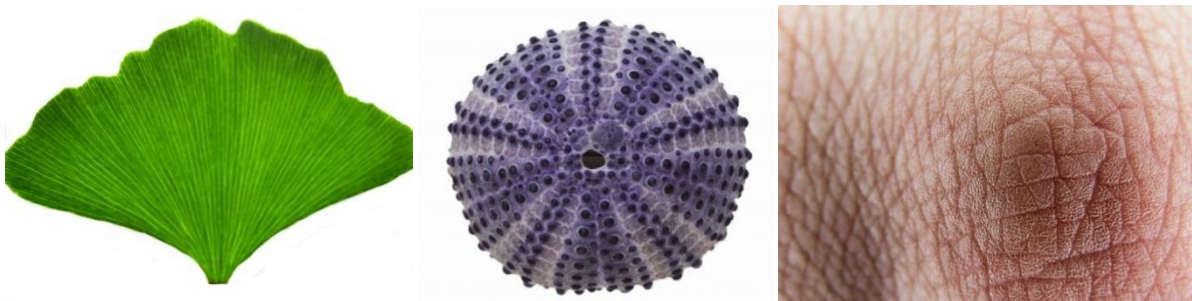
Usualmente, esta oposição combina o preto ou o branco com uma cor primária ou uma tonalidade resultante da conjunção entre cores primárias (fig. 246).



Fig. 246 – Exemplos de contraste por oposição claro / escuro, com diferentes tonalidades em estruturas vivas. Nautilus (combinação de branco / vermelho); Borboleta (combinação de preto / azul); Abelha (combinação de preto e amarelo)

1.2.2 - Oposição com tonalidades da mesma cor

Este tipo de oposição, não contempla diferentes tonalidades de uma cor primária, mas sim diferentes tonalidades de cores resultantes da combinação das cores primárias. As estruturas podem contemplar mais que duas tonalidades da mesma cor, mas estas variações de cor, não são distribuídas nas estruturas mediante uma composição gradiente (fig. 247).



Folha de Ginkgo Biloba (esq.), Ouriço do mar (centro), Pele humana (dir.).

Fig. 247 - Exemplos de contraste por oposição claro / escuro com tonalidades da mesma cor.

Os limites dos elementos estruturais e os espaço que contém, são vincadamente separados por tonalidades de intensidades opostas de uma cor.

1.3 - Oposição por cores primárias

Este tipo de oposição, revela-se também como uma das mais imponentes, a par da oposição preto / branco. As oposições por cores primárias (amarelo, vermelho, azul) podem ser organizadas mediante duas variações predominantes: uma em que a oposição é feita apenas por cores primárias e outra cuja, oposição detém pelo menos uma cor primária e uma cor secundária resultante da combinação de outras duas cores primárias. O leque de oposições pode ser realmente muito vasto , mas as mais predominantes podem resumir-se a duas: oposição vermelho / verde e oposição amarelo / azul (fig. 248).



Fig. 248 – Exemplos de contraste de oposição claro / escuro com cores primárias
Sapo da árvore de olho vermelho (vermelho / verde), Secção transversal do caule de Polypodium Vulgare (vermelho / verde), Peixe Rainha (amarelo / azul).

2 – Contrastes por variação estrutural

Os contrastes por variação estrutural mais usuais nas estruturas vivas, podem ser divididos em três grupos: contraste pela oposição cheio / vazio, contraste pela oposição concavo / convexo e contraste por oposição dinâmico / calmo.

2.1 – Oposição cheio / vazio

A oposição cheio / vazio, caracteriza-se por uma alternância de dois sistemas de elementos opostos, em que um dos sistemas não tem forma física, nem pertence aos elementos estruturais da composição. Este sistema de elementos é a própria envolvente (fig. 249).



Folha de feto; Flor de Maracujá; Mão humana; Folha de Costela de Adão.

Fig. 249 – Exemplos de estruturas vivas com contraste por variação estrutural com oposição cheio / vazio.

2.2 – Oposição concavo / convexo

É um tipo de contraste, cuja oposição dos elementos se reflete por uma alternância do ângulo com a qual a superfície da estrutura contacta com a envolvente. Esta alternância de ângulos confere às estruturas, um efeito de oscilação (fig. 250).



Concha de Cameo (esq.), Meandrina (dir.).

Fig. 250 – Exemplos de estruturas vivas com contraste por variação estrutural com oposição concavo / convexo.

2.3 – Oposição dinâmico / calmo

Por muito vibrantes e dinâmicas que as estruturas vivas sejam, estas equilibram todo esse “euforismo” com zonas calmas e tranquilas. Este equilíbrio pode manifestar-se na composição geométrica das estruturas vivas, mediante pelo menos três distintos tipos de soluções. Uma dessas soluções, passa por equilibrá-la com uma zona no seu interior em que não exista matéria. Outra solução, passa por densificar uma zona da estrutura conflituosa, ao ponto de a tornar homogeneia. A terceira solução, resume-se a um aumento repentino de um dos elementos estruturais da composição (fig. 251).

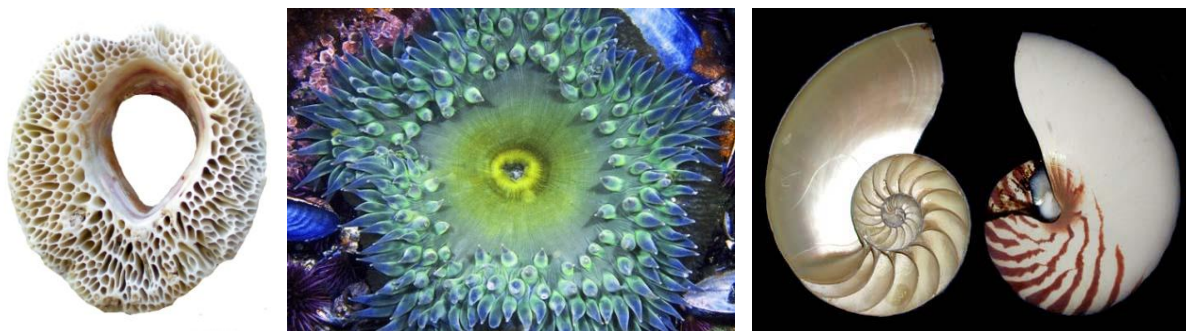


Fig. 251 - Exemplos de estruturas vivas com contraste por variação estrutural com oposição dinâmico / calmo.

Secção transversal do crustáceo marítimo percebe (oposição dinâmico / calmo por ausência de matéria), Anémone (oposição dinâmico / calmo por homogeneidade estrutural); Concha do Nautilus (oposição dinâmico / calmo por salto repentino de escala de um dos elementos estruturais).

Coexistência de opostos

Os diversos tipos de oposição podem coexistir numa mesma estrutura. Aliás, esta coexistência é predominante em grande parte das estruturas vivas, podendo os mesmos elementos, ser englobados em mais que um tipo de oposição. Por exemplo, numa anêmona-do-mar (fig. 252), pode-se distinguir até três tipos de oposição em simultâneo. Os diversos elementos são separados pelo uso de diferentes tonalidades, numa oposição claro / escuro. O centro a vermelho, é delineado na globalidade por um elemento laranja. Deste elemento partem inúmeros outros, mediante uma composição espacial por simetria radial. Estes são detetados pela alternância de cor entre amarelo e laranja. Para destacar os tentáculos a branco da superfície raiada, a separação entre ambos, é feito por um elemento a vermelho que contorna e destaca o arranque do tentáculo do resto da composição. Estes despontam entre si um outro tipo oposição, cheio / vazio. A delimitação de elementos semelhantes e sem qualquer diferenciação de cor é feita pela ausência de matéria entre as mesmas. A ausência de matéria em praticamente toda a sua envolvente, bem como a marcação vermelha na zona de ligação com a restante composição, delimitam totalmente o tentáculo e tornam-no facilmente legível. No entanto, há ainda que salientar, um outro tipo de oposição na composição, a oposição dinâmico / calmo. Os tentáculos criam na forma, uma composição dinâmica que se opõem à superfície calma do centro. Esta oposição permite delimitar com facilidade duas zonas distintas da forma.

Por vezes, o efeito gradiente da cor pode criar algum distúrbio na identificação dos elementos, por essa razão é importante salientar o seguinte: o efeito de tonalidade de cor, quando existe, está totalmente contido num elemento da forma. Não é delimitador de vários elementos. Simplesmente ocorre dentro dos mesmos.



Fig. 252 – Coexistência de opostos.

A anêmona-do-mar detém em simultâneo na sua composição, três tipos de oposição (claro / escuro, cheio / vazio, dinâmico / calmo).

Contraste nas estruturas humanas de caráter arquitetónico

A alternância de opostos é de extrema importância, tanto na percepção do espaço arquitetônico, como na legibilidade do objeto arquitetônico. Este ponto tem como objetivo, demonstrar a diferença de legibilidade de uma estrutura arquitetônica, quando os seus elementos estruturais são concebidos sem alternância de opostos e quando estes se manifestam em soluções similares aos identificados nas estruturas vivas.

- Exemplos arquitetônicos sem contraste

A ausência de contrastes, não tem qualquer tipo de correspondência com o nível de complexidade das composições. Esta pode revelar-se de igual modo em estruturas extremamente simples e calmas, ou em estruturas repletas de distúrbio. Nas estruturas arquitetônicas, a causa da ausência de contraste, deve-se essencialmente a dois fatores: ilegibilidade dos elementos estruturais e inexistência de continuidade estrutural.

1 - Ilegibilidade dos elementos estruturais

A percepção dos limites do espaço arquitetônico está diretamente relacionado com a identificação dos elementos estruturais que o compõem. Portanto, se os limites dos elementos estruturais não são clarividentes, o espaço que concernem também não o pode ser. A ilegibilidade dos elementos reflete que a estrutura não é concebida mediante uma dualidade de opostos. Se os elementos não são identificados, então é porque não existe nada que se lhes oponha e os revele, ou seja, não há contraste. O resultado, são elementos estruturais que não aparentam ter fim, o que retira clarividência e cria “stress” cognitivo durante a compreensão do objeto (fig. 253).



Instituto de tecnologia de Kanagawa - Junya Ishigami (esq.), Oblong Void Space - Steven Holl (centro), Palácio Bolha - Pierre Cardin (dir.).

Fig. 253 – Ilegibilidade estrutural.

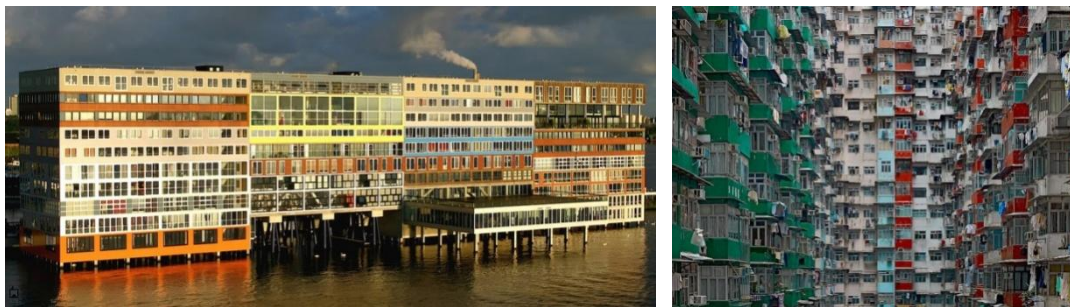
Exemplos de estruturas humanas, em que não é possível discernir como as composições geométricas das estruturas alcançam a sua configuração. A ilegibilidade estrutural, não é capaz de justificar a solução estrutural.

2 - Inexistência de continuidade estrutural

É já evidente, que a identificação dos elementos estruturais por contraste requer uma oposição entre elementos de dois sistemas. Contudo, tal não chega. A disposição destes dois sistemas de elementos no espaço, também tem que contemplar um outro fator, uma disposição por alternância em continuidade. Quando um sistema de elementos existe dentro dos limites de outro sistema, ambos podem ser identificados, mas a leitura da composição geométrica torna-se “ruidosa”. Porquê? O contraste está a evidenciar elementos que estão a mais na composição estrutural, ou seja, elementos que não contribuem para a configuração da composição (ver ponto 3.2.1.2 - Exemplos de estruturas humanas de caráter arquitetónico sem coesão estrutural – dispersão dos elementos estruturais). Este tipo de disposição de opostos, não permite perceber de uma forma clarividente, a composição geométrica da estrutura, gerando também nestes casos, “stress” cognitivo (fig. 254 e 255).



Fig. 254 – Exemplos de disposição de elementos estruturais de sistemas de elementos opostos. A disposição por partilha espacial (esq.) é uma composição mais ruidosa. Os elementos invasores perturbam a leitura da configuração estrutural. A disposição por alternância de opostos em continuidade (dir.), permite perceber de um modo clarividente, os elementos estruturais que dão corpo à configuração estrutural



Edifício Silodam, Amesterdão – MVRDV (esq.), Edifícios habitacionais em Hong Kong (dir.).

Fig. 255 – Exemplos de estruturas geométricas com grande predominância de distúrbio estrutural. O ruído é tão intenso, que a composição geométrica aparenta desfragmentar-se, dificultando assim, a legibilidade da configuração estrutural.

- Exemplos de arquitetura com contraste

A utilização de contraste em estruturas humanas de caráter arquitetónico é uma prática muito usual. No entanto, a sua aplicação tendo como intuito a legibilidade dos elementos estruturais, já não é assim tão comum. Os exemplos que se seguem, pretendem demonstrar

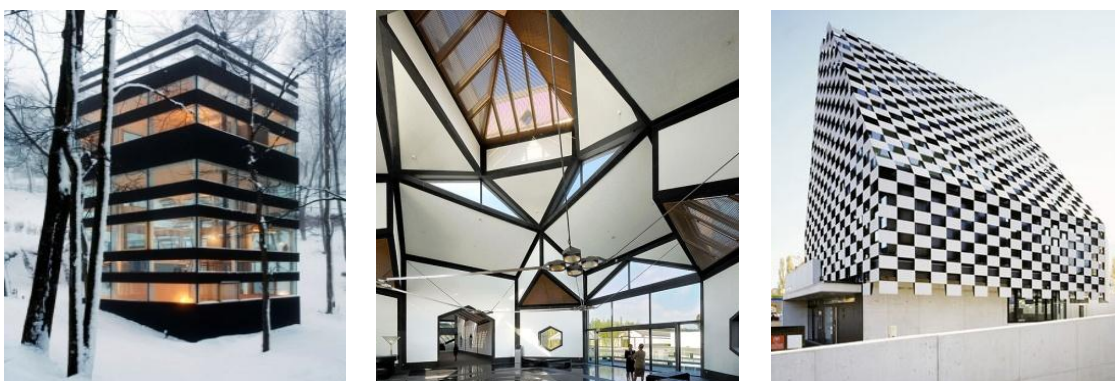
casos em que arquitetura aplicou o contraste com esse propósito e como essa aplicação facilita a legibilidade do espaço, ou do objeto que estruturam. Para uma melhor compreensão desta análise, a exemplificação dos objetos arquitetônicos, será ordenada mediante os tipos de contraste identificados nas estruturas vivas.

1 - Exemplos de arquitetura com contraste por tonalidade

Os exemplos de arquitetura com contraste por tonalidade serão, tal como na análise efetuada às estruturas vivas, divididas em três grupos: contraste por oposição preto / branco, contraste por oposição claro / escuro e contraste por oposição de cores primárias.

1.1 - Contraste por oposição preto / branco

Este tipo de contraste pode apresentar-se na arquitetura mediante dois tipos de soluções: através da alternância de cores nos elementos, ou pela aplicação de uma tonalidade no espaço vinculado ao elemento estrutural e outra no perímetro do elemento estrutural (fig. 256).



Casa Nagano - Koji Tsutsui (esq.), Museu Suzhou – I. M. Pei (centro), Catedral de Saint Basil - Barma and Postnik Yakovlev (dir.).

Fig. 256 – Exemplos de estruturas arquitetônicas cujos elementos estruturais são definidos através de contraste por oposição preto / branco. A clara distinção dos elementos estruturais, permite uma fácil e compreensível leitura de toda a composição.

1.2 - Contraste por oposição claro / escuro

Dos tipos de contrastes identificados nas estruturas vivas, este é o mais frequente nas estruturas humanas de caráter arquitetônico. Este tipo de contraste pode manifestar-se na arquitetura mediante os mesmos tipos de soluções descritas no ponto anterior (fig. 257).



Fig. 257 – Exemplos de contraste por oposição claro / escuro em estruturas arquitetônicas.
 Falcon Headquarters (Rojkind architects) _ contraste por oposição claro / escuro com diferentes tonalidades;
 Casa na Comporta (Aires Mateus) _ oposição claro / escuro com tonalidades da mesma cor.
 A clara legibilidade dos elementos estruturais permite compreender como foi obtida a configuração da estrutura.

1.3 - Contraste por oposição de cores primárias

Entre os tipos de contraste identificados nas estruturas vivas, este apresenta-se como o menos usual nas estruturas arquitetônicas. Este tipo de contraste é predominantemente associado, na arquitetura, ao preenchimento total de um elemento estrutural (limite e espaço interior) (fig. 258).



Fig. 258 – Exemplos de contraste com oposição por cores primárias em estruturas arquitetônicas.

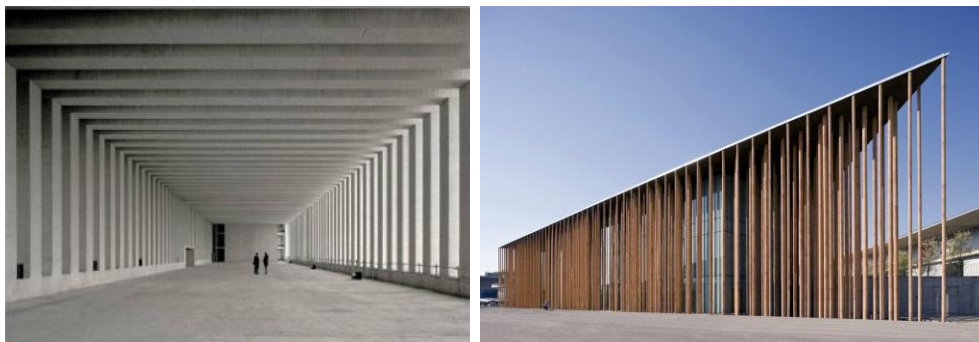
Mosteiro Shrine of Hazrat Ali (oposição mediante duas cores primárias, amarelo e azul e a cor secundária resultante dessas mesmas duas cores, o verde), Mosteiro Cheng Ho (oposição mediante uma cor primária, o vermelho, e uma cor secundária, verde, resultante da conjugação das outras duas cores primárias, amarelo e azul). O Mosteiro Cheng Ho, tem a particularidade de conter zonas (coberturas e os elementos que definem as arcadas) em que os elementos estruturais não tornam a composição facilmente legível. Esta situação deve-se ao facto de nessas zonas, o contraste entre elementos estruturais, não estar a ser usado em continuidade. Apenas um sistema de elementos estruturais está a ser aplicado, sem que algo o oponha. O resultado reflete-se mediante homogeneidade.

2 - Exemplos de arquitetura com contraste por variação estrutural

Tal como sucedeu na análise realizada às estruturas vivas, os exemplos de arquitetura com contraste por variação estrutural, são divididos em três grupos: contraste por oposição cheio / vazio, contraste por oposição concavo / convexo e contraste por oposição dinâmico / calmo.

2.1 - Contraste por oposição cheio / vazio

Este é um tipo de contraste bastante vulgar nas estruturas arquitetónicas. A alternância entre elementos estruturais e a ausência deles apresenta-se como uma das soluções mais eficazes na identificação de elementos estruturais (fig. 259).

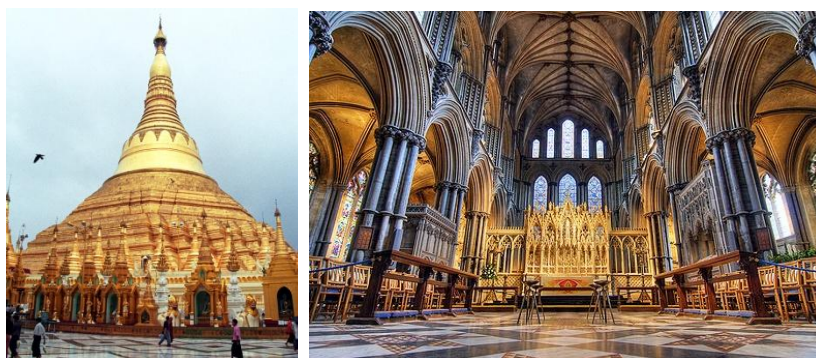


Museu das Coleções Reais - Mansilla e Tuñón (esq.), Pavilhão de Espanha, Expo Zaragoza - Francisco Mangado (dir.).

Fig. 259 – Exemplos de contrastes por oposição cheio / vazio em estruturas arquitetónicas. A alternância de opostos, pela presença e ausência de elementos, permite distinguir com grande clarividência os elementos estruturais que dão corpo à estrutura.

2.2 – Contraste por oposição concavo / convexo.

É um tipo de contraste caracterizado por um jogo de invasões e evasões espaciais entre a estrutura arquitetónica e a envolvente. A composição geométrica, tanto convida a envolvente a fazer parte da composição, como repentinamente se torna ela própria o objeto convidado. Este tipo de jogo, resulta da alternância de direcionalidade das superfícies curvas, conferindo às estruturas um aspeto rugoso por via de um efeito de oscilação (fig. 260).



Templo de Gopuram (esq.), Catedral de Ely (dir.).

Fig. 260 – Exemplos de contrastes pela oposição concavo / convexo em estruturas arquitetónicas. A alternância de ângulo da superfície dos elementos confere-lhes uma forte legibilidade na composição estrutural.

2.3 – Contraste por oposição dinâmico / calmo

De todos os contrastes por variação estrutural, o contraste por oposição dinâmico / calmo é o menos frequente nas estruturas arquitetônicas. Apenas duas das três variações deste tipo de contraste são frequentemente encontradas na arquitetura. São elas a oposição por ausência de matéria e a oposição por homogeneidade estrutural. Este tipo de contraste, também se apresenta como sendo o mais complexo, pois necessita da existência de outros para se manifestar. O contraste dinâmico / calmo, não é um contraste que esteja muito relacionado com a legibilidade dos elementos estruturais, mas sim, pelo equilíbrio entre zonas da composição. A parte da legibilidade dos elementos estruturais está associado a outro tipo de contraste. Por exigência desta dualidade de contraste, esta oposição praticamente não se revela por completo nas estruturas arquitetônicas. Dos exemplos que se seguem, apenas o Mosteiro the Kairouan consegue revelar essa dualidade. Nos restantes, é possível perceber a oposição dinâmico / calmo, mas esta não obtém toda a sua qualidade, pela ilegibilidade de muitos dos seus elementos estruturais (fig. 261).



Fig. 261 – Exemplos de contraste por oposição dinâmico / calmo em estruturas arquitetônicas.

Mosteiro de Kairouan (esq.) _ oposição dinâmico / calmo por ausência de matéria.

Universidade de Medicina de Groningen – Unstudio (centro) e Restaurante Urban Interiorites - Ali Rahim (dir.) _ oposição dinâmico / calmo por homogeneidade estrutural.

3.2.2.2 Simetrias locais

A simetria é uma das qualidades geométricas mais evidentes nas estruturas vivas. Apresenta-se como a mais clara assinatura da vida numa estrutura física. Todas as estruturas vivas a têm (fig. 262). Contudo, apesar da sua clarividência, a relação entre as estruturas vivas e a simetria é ainda algo “turva”. Existe uma disparidade na compreensão do que geometricamente se define como simetria e o que as composições geométricas das estruturas vivas apresentam como tal.

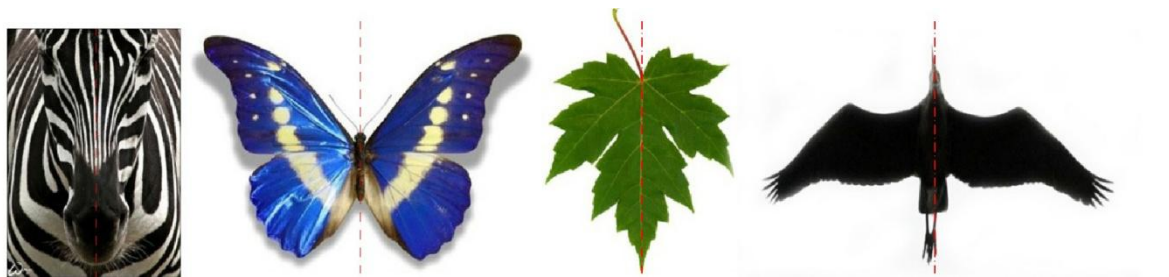


Fig. 262 – Exemplo de simetria em estruturas vivas.

O conceito de simetria, está conotado à igualdade. Se dois lados de uma estrutura, mediante um eixo, se definem como um espelho um do outro, então são simétricos. Caso contrário, o homem tenta solucioná-la de modo a que sejam, ou simplesmente nega-lhes a existência. No entanto, a vida não soluciona a simetria das suas estruturas dessa forma. Nas estruturas vivas, embora as formas sejam frequentemente simétricas, raramente têm uma simetria perfeita. As complexas e assimétricas forças presentes no universo, impõem interrupções na perfeição. O resultado da influência de todas essas variantes, não é a perfeição, mas sim, uma aproximação à mesma (fig. 263).



Fig. 263 – Simetrias locais nas estruturas vivas.

A simetria das estruturas vivas nunca é exata, mas sim, semelhante por aproximação.

A essência bilateral ou radial da simetria, não requer perfeição na identificação.

A simetria perfeita é uma marca que não está presente na vida. A razão de tal ausência é a falta de coerência. Na verdade, as simetrias locais trabalham para a coerência, enquanto as simetrias perfeitas raramente o fazem. Porquê? Porque, enquanto as simetrias perfeitas arrumam espaço, as simetrias locais colam espaço. A junção de elementos estruturais simetricamente regulares, impõem continuidades unidirecionais fáceis de quebrar. Enquanto as continuidades resultantes da simetria por semelhança são multidirecionais, o que as torna mais agarradas e difíceis de quebrar. Daí as irregularidades formais resultantes da imperfeição simétrica funcionarem como um tipo de cola. E quanto mais cola a composição tiver, mais coerente, sólida e unificada será. No entanto, para que a cola seja efetiva, os limites dos elementos geométricos, têm que se sobrepor com os limites dos elementos que lhes são adjacentes. É a sobreposição que faz a cola e é esta que dá integridade ao desenho (fig. 264).

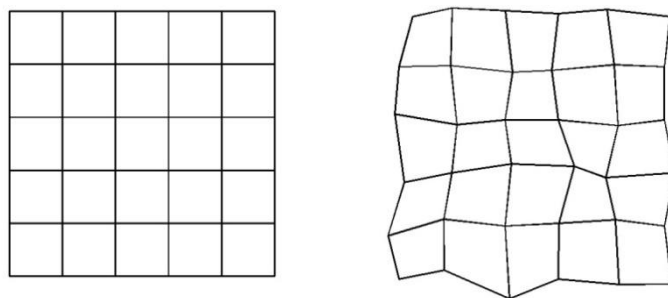


Fig. 264 – Comparação entre composição geométrica com simetria global (esq.) e composição geométrica com simetrias locais (dir.). A Composição geométrica com simetria global é uma estrutura rigorosamente arrumada e cheia de continuidades unidirecionais, que lhe retira qualquer relação de dependência formal entre os elementos. Tudo parece estar encostado e fácil de separar. Já na composição geométrica com simetrias locais, a geometria dos seus elementos tem predominâncias direcionais, mas nenhuma das direções se repete, ou seja, as continuidades são quebradas. Esta oscilação quebra dependências formais. A geometria de um elemento está fortemente relacionada com a geometria dos elementos que o rodeiam. Tudo parece colado e difícil de separar.

Geração de estruturas com simetrias locais – imposições geométricas

Para gerar estruturas com simetrias locais, é necessário que todos os elementos estruturais que lhe dão corpo possuam também simetrias locais. No entanto, para que tal aconteça, é necessário acrescentar uma condicionante: as irregularidades têm sempre que gerar formas semelhantes e nunca iguais. Os elementos estruturais com irregularidades simétricas, só conseguem despontar continuidades inquebráveis com elementos geométricos semelhantes. Isto porque, a geração de continuidades inquebráveis, requer sempre a sobreposição de limites entre elementos adjacentes. Sendo assim, a sobreposição com elementos estruturais iguais, não consegue garantir uma total sobreposição dos limites com os elementos que lhes estão adjacentes. Portanto, provoca a desagregação das continuidades inquebráveis típicas das estruturas vivas (fig. 265).

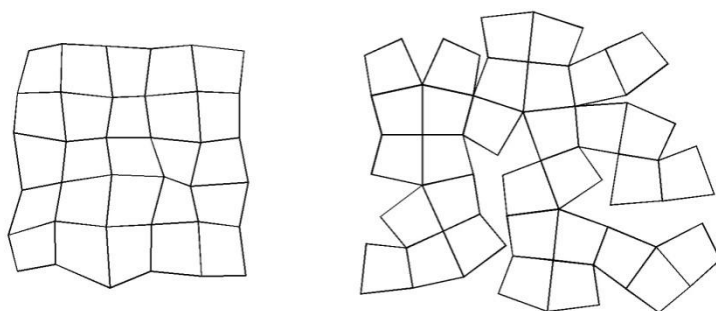


Fig. 265 – Os elementos estruturais das composições geométricas com simetrias locais.

A composição geométrica à esquerda, é uma estrutura com simetrias locais constituída por elementos geométricos com simetrias locais por semelhança formal. O resultado é um conjunto de elementos estruturais totalmente dependentes. A composição geométrica à direita, é uma estrutura sem simetrias locais, porque é constituída por um elemento geométrico com essa qualidade repetida uma e outra vez. O resultado é uma forma desintegrada, onde os elementos estruturais, não demonstram qualquer dependência existencial.

A ideia subjacente às irregularidades por aproximação das simetrias locais é a dinâmica. A simetria não exata cria tensão e dinamismo (fig.266). Portanto, tudo o que não seja rigidamente perfeito e exato foge à monotonia estática. Contudo, as simetrias locais dependem de algumas necessidades geométricas que vão mais além da fuga à simetria exata. A forma (A) da fig. 267 é uma estrutura regular, mas não é simétrica. Será esta uma estrutura com simetrias locais? A resposta é não. Em ocupação espacial, a forma tem simetrias locais, mas a sua estrutura geométrica não. O perfil delimitador tem direções predominantes, ou seja, a geometria da composição recorre ao paralelismo estrutural, muito fruto da repetição sucessiva dos mesmos ângulos internos. E a presença dessa simples regularidade, retira à estrutura dinamismo (fig. 267 - B). Portanto, as simetrias locais requerem irregularidades em toda a sua essência geométrica e não só em distribuição espacial face a um eixo de simetria. Para tal, os ângulos internos da composição, não devem ser repetidos, nem sucessivamente, nem em cadências alternadas. Se assim for, as formas possuem simetrias locais (fig. 268).

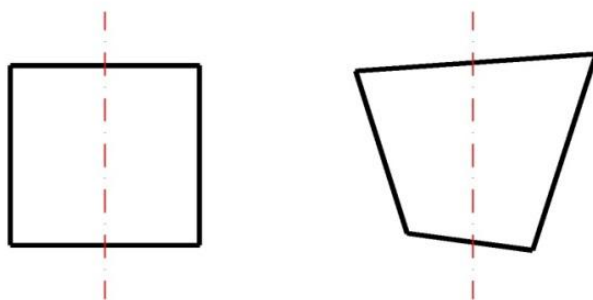


Fig. 266 – Forma com simetria bilateral exata - forma monótona e estática (esq.).
Forma com simetrias locais - forma tensa e dinâmica (dir.).

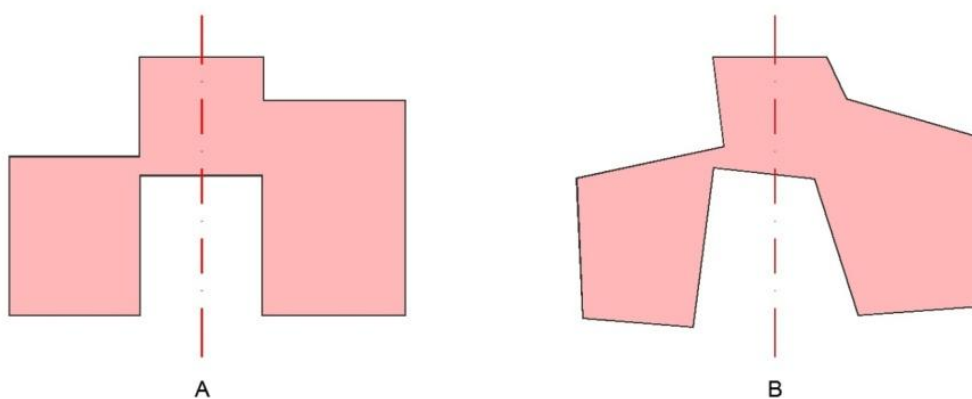


Fig. 267 – A importância da variabilidade de ângulos internos nas formas com simetrias locais.

As simetrias locais devem implicar uma variação por aproximação a todos os elementos que compõem a estrutura. Por exemplo, a estrutura (A) é uma estrutura com simetria local, no que diz respeito à distribuição não exata de massa no espaço. Contudo, mantém uma regularidade extrema por manter muitas relações de paralelismo exato no seu perfil delimitador. Já a estrutura (B), aplica o conceito de irregularidades por aproximação, em toda a sua essência geométrica. A ausência de direções dominantes faz com que o dinamismo se espalhe por toda a estrutura. O resultado é uma composição com simetrias locais.



Esculturas de Andy Goldsworthy

Fig . 268 – Exemplos de composições geométricas com simetrias locais, gerada com elementos estruturais com simetrias locais.

Simetrias locais em estruturas humanas de caráter arquitetónico

A simetria com elementos geométricos não regulares, é uma opção de desenho que se encontra com alguma frequência nas estruturas arquitetónicas. No entanto, não é esse tipo de simetria que o fenómeno da vida incute nas suas estruturas. As simetrias locais que emergem nas estruturas vivas revelam conter outras qualidades. O objetivo desta secção, passa por demonstrar que tipo de soluções geométricas são frequentemente introduzidas no processo de desenho humano, que não permitem a sua emergência. Simultaneamente, pretende-se demonstrar que qualidades geométricas introduzem as simetrias locais, quando aplicadas com sucesso nas estruturas arquitetónicas.

- Exemplos arquitetónicos sem simetrias locais

O facto de as qualidades geométricas das simetrias locais não despontarem em grande parte das estruturas arquitetónicas atuais, não está relacionada com a perfeição simétrica, mas sim, com a presença de regularidade geométrica das estruturas. Mesmo que a estrutura não seja simetricamente perfeita, a regularidade interna não permite que as qualidades geométricas inerentes às simetrias locais emergem. Estas necessitam que a aleatoriedade geométrica se manifeste em toda a estrutura e não só em certas zonas das mesmas.

A ausência de simetrias locais em estruturas arquitetónicas, pode justificar-se mediante três tipos de opções geométricas durante o processo de desenho: o uso de elementos regulares de simetria perfeita, o uso de elementos regulares sem simetria perfeita e o uso de elementos predominantemente regulares sem simetria perfeita (fig. 269).

1 - Elementos regulares de simetria perfeita

A introdução deste tipo de elementos, na geração de estruturas, reflete sempre composições geométricas estáticas. A repetição constante de elementos geométricos com

ângulos internos iguais, não desponta qualquer tipo de dinamismo na composição. Isto acontece, porque os elementos não trabalham na dependência de valorizar algo comum. Todos eles competem para uma valorização individual e não de conjunto. O resultado são estruturas extremamente bem arrumadas, mas de frágil agregação, pois a troca posicional dos elementos estruturais, não revela uma composição cuja existência dependa de um posicionamento exato de cada um dos seus elementos.

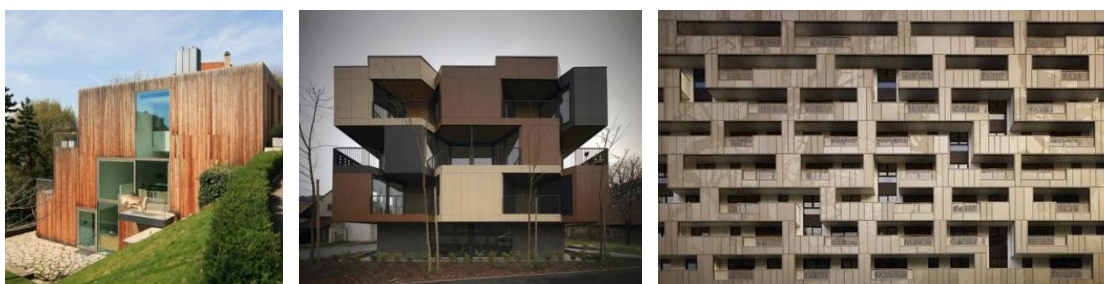


Edifício de escritórios Cubo - Personeni Raffaele Scharer (esq.), Edifício MPA - Lousinha Arquitetos (centro), Coliseu Quadrado - Giovanni Guerrini, Ernesto Bruno La Padula e Mario Romano (dir.).

Fig. 269 – Exemplos de composições geométricas com elementos regulares de simetria perfeita. A repetição contínua de elementos estruturais com os mesmos ângulos internos arrumam a composição geométrica de modo estático. Isto faz com que as estruturas aparentem ser um resultado de elementos empilhados, em vez de um resultado de elementos agregados.

2 - Elementos regulares sem simetria perfeita

A ausência de simetria perfeita confere logo à estrutura um certo dinamismo, resultante do peso visual que uma parte da estrutura denota fase à restante composição. Não obstante, a repetição sucessiva do mesmo ângulo interno, não permite que esse dinamismo se exprima com mais intensidade. As estruturas denotam alguma vibração, mas estas apresentam-se fortemente limitadas e restritas a um rigor geométrico superior (fig. 270).



Casa em Hang – MVRDV (esq.), Apartamentos Lace - Ofis arquitetos (centro), Edifício Grosvenor - Allies and Morrison –(esq.).

Fig. 270 – Exemplos de composições geométricas com elementos regulares sem simetria perfeita. A presença de simetria não regular, é suficiente para fazer emergir na composição geométrica algum tipo de dinamismo. Contudo, o dinamismo em composições geométricas com simetrias locais, em que os ângulos de composição interna são repetidos uma e outra vez, é muito esporádico. De facto existe dinamismo, mas este apresenta-se em pequenos e rápidos momentos sem continuidade.

3 - Elementos predominantemente regulares sem simetria perfeita

A introdução de elementos estruturais com algumas variações nos seus ângulos internos aumenta consideravelmente a intensidade dinâmica da estrutura. Ainda assim, estas variações ainda não refletem as qualidades dinâmicas inerentes às simetrias locais. A razão desta contenção está relacionada com a predominância de um ângulo interno. A repetição de pelo menos um destes ângulos em formas fechadas contribui sempre para a emergência de paralelismo, algo que as qualidades dinâmicas das simetrias locais não contemplam (fig. 271).

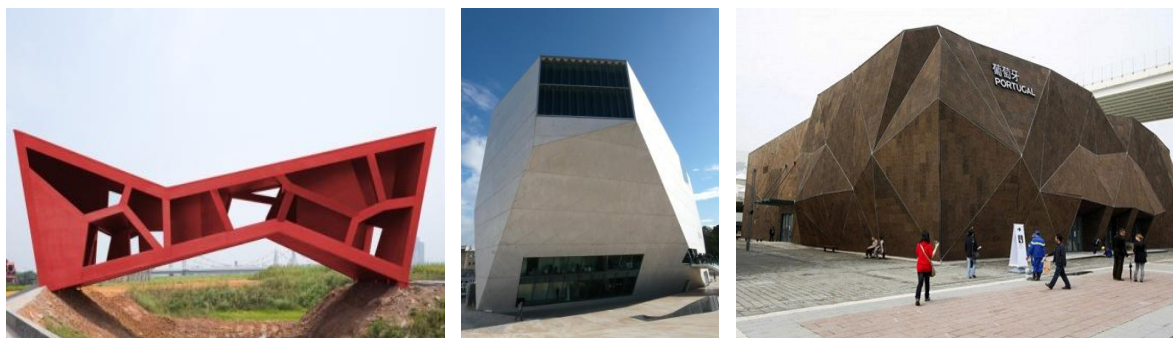


Bloco de apartamentos Cipea - ZL Arquitetos (esq.), Abrigo Monte Rosa - Marcel Baumgarther (centro), Centro de informação turístico e cultural de Tóquio - Kengo Kuma (dir.).

Fig. 271 – Exemplos de composições geométricas com elementos predominantemente regulares sem simetria perfeita. A predominância de pelo menos um ângulo de simetria interna, evita a sensação de total liberdade de posicionamento espacial dos elementos. O resultado são estruturas cujo dinamismo alcançado, ainda revelam graus de constrangimento e não de liberdade.

- Exemplos arquitetônicos com simetrias locais

A principal característica geométrica das estruturas com simetrias locais é a quebra de regularidade estrutural. No entanto, esta quebra de regularidade, não é fruto de uma simples interrupção momentânea ou esporádica de um qualquer tipo de padrão geométrico. A irregularidade geométrica é tão profunda que não tolera a repetição, ou seja, não permite a implementação de um qualquer tipo de padronização na composição estrutural. Isto implica, que os ângulos de simetria interna dos elementos, não devem ser repetidos na estrutura. Apenas a familiaridade por semelhança geométrica dos elementos, deve ser mantida para reforçar a coesão estrutural. Contudo, a coesão requer continuidade geométrica. Portanto, para que tais continuidades se revelem inquebráveis, as irregularidades requerem que os elementos da composição sejam dependentes dos elementos com que confinam diretamente. É nesta relação de dependência e de diversidade de ligações que reside a “cola” da coesão estrutural (fig. 272).



Casa Ponte - Fernando Romero (esq.), Casa da Música do Porto - Rem Koolhaas (centro), Pavilhão de Portugal Expo Shanghai 2010 - Carlos Couto (dir.).

Fig. 272 – Exemplos de composições geométricas com simetrias locais (elementos estruturais e composição geométrica). As estruturas, bem como os seus elementos geométricos, denotam simetrias locais. O resultado, são composições geométricas dinâmicas, em que os elementos estruturais relevam uma dependência tão forte, que a sua separação aparenta ser impossível.

3.2.2.2.3 Simplicidade

As estruturas vivas, por mais complexas que possam ser, resultam sempre de um modo de composição simples. No entanto, esta simplicidade, não deve ser conotada pela ideia de regularidade, mas sim, com a ideia de legibilidade. Uma estrutura irregular com uma aparência complexa pode ser perfeitamente legível e simples, se todos os elementos estruturais que a compõem forem claramente identificáveis (fig. 273). Contudo, a simplicidade não deve ser apenas conotada à legibilidade. Uma composição geométrica simples, é uma estrutura que revela otimização geométrica, ou seja, é uma estrutura que apenas é constituída pelos elementos estruturais necessários à sua idealização (fig. 274).

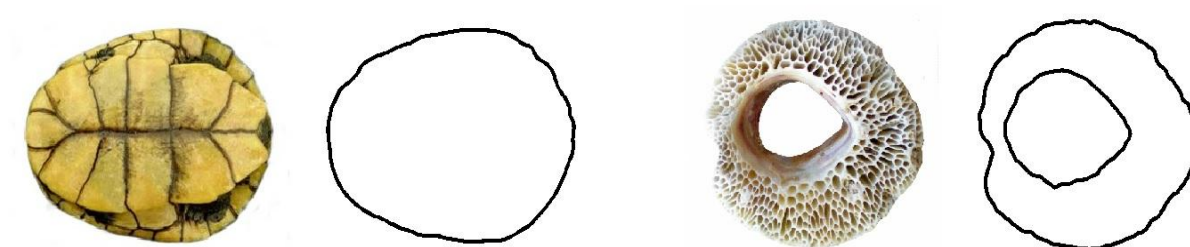


Fig. 273 – Legibilidade estrutural em estruturas vivas de diferente complexidade geométrica. Independentemente da complexidade dada pelo número de elementos que as constituem, a legibilidade dos mesmos é clara e direta.

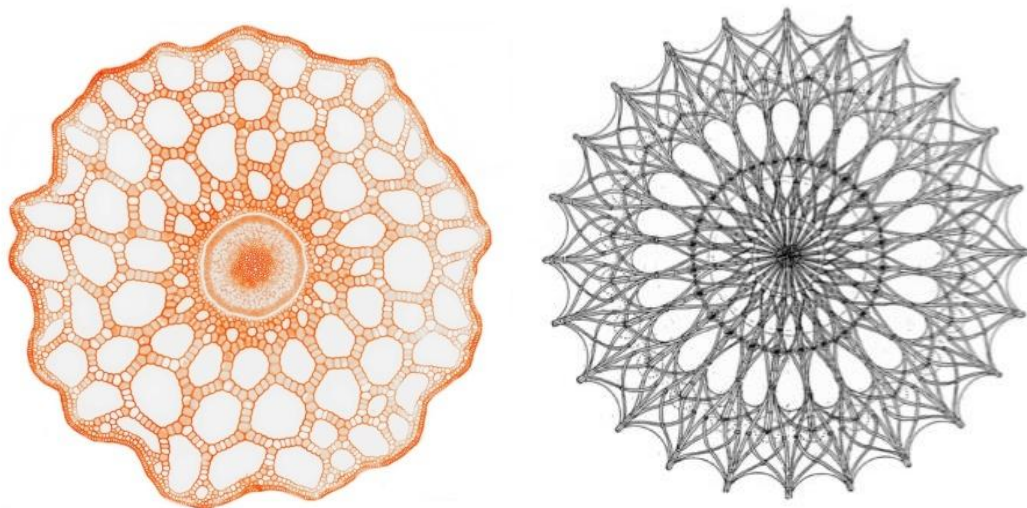


Fig. 274 – Exemplos de estruturas com simplicidade (esq.) e sem simplicidade estrutural (dir.)
 Na composição geométrica com simplicidade estrutural, todos os elementos são perfeitamente legíveis. Não existe nenhum elemento a mais que perturbe a leitura da composição. Todos os elementos estruturais que a compõem são os necessários à sua configuração. Já na estrutura sem simplicidade estrutural, a grande diferença face à anterior, está logo na falta de clarividência dos elementos estruturais que a compõem. A geração de elementos por sobreposição de outros geram indecisão na sua identificação, tornando a composição geométrica “ruidosa”.

Fatores que influenciam a geração de estruturas com simplicidade estrutural

A forma “A” da fig. 275 é uma forma simples. É uma forma fechada, bem delimitada, em que o espaço contido pelo limite é só seu. Contudo, não é linear afirmar, que um conjunto de formas fechadas produza uma forma com simplicidade estrutural. A forma “B” é composta por dois elementos geométricos simples (verde e vermelho), cuja combinação geométrica resultante das duas detém simplicidade estrutural. Já a forma “C”, é constituída por quatro elementos geométricos simples, mas a composição resultante não detém simplicidade estrutural. Porquê?

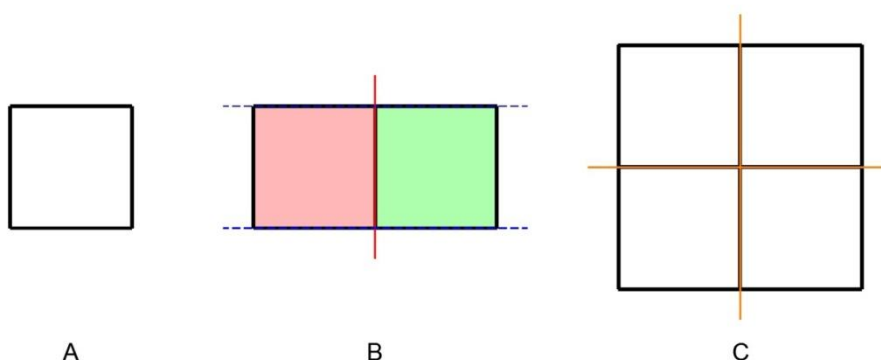


Fig. 275 – Exemplo de como formas com simplicidade estrutural, podem não gerar composições com simplicidade estrutural.

A simplicidade estrutural, para emergir nas composições geométricas requer quatro distintos requisitos geométricos: direção, sobreposição, intersecção e caráter morfológico. Cada um deles, contém particularidades geométricas relevantes que convém salientar e exemplificar.

1 - Direção

Para gerar estruturas com simplicidade estrutural, é essencial que os limites dos elementos, quando dispostos em continuidade, não marquem uma direção concreta, de modo a evitar que elementos e direções se fundam num só. Por exemplo, numa reta (fig. 276 – A), todos os pontos que a constituem fazem parte dessa direção. A forma e a direção fundem-se numa só. Contudo, uma direção pode-se expressar de inúmeras maneiras. Uma direção pode ser delineada a partir de elementos multidirecionais, como sucede nos exemplos B e C da fig. 276. Existe uma direção gerada pelo modo regular como um conjunto de elementos se distribuí no espaço, sem que cada ponto dessas continuidades lineares partilham da direção gerada pelo conjunto (fig. 277).

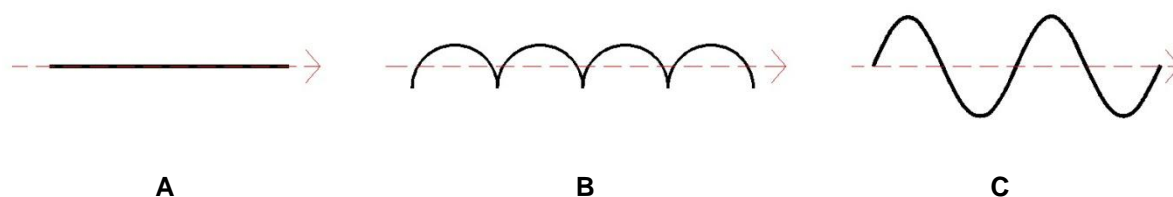


Fig. 276 – Hipóteses para demarcação de uma qualidade.
(A) - Direção coincidente com a geometria da forma. (B) e (C) - Direção produzida pela disposição de elementos no espaço. A variação espacial confere-lhe uma multidireccionalidade estrutural, não coincidente com a direção expansiva da sua continuidade.

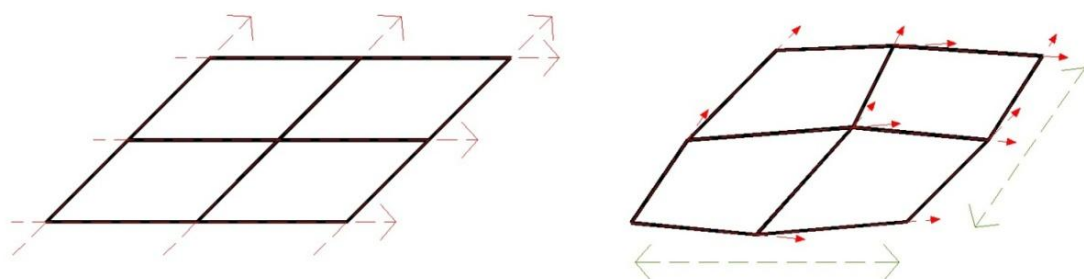


Fig. 277 – Quebra de continuidades unidireccionais.
A variação de direção em cada um dos segmentos nos nós de ligação (fig. dir.), desfaz a Sensação de formas geradas por segmentos lineares unidireccionais (fig. esquí). As quebras nos segmentos, transmitem a sensação de exclusividade às formas que delimitam. Cada elemento, contém regras e geometria própria, portanto contém simplicidade.

2 - Intersecção

Sempre que um elemento estrutural, é gerado a partir da intersecção de pelo menos outros dois, este não contém simplicidade estrutural. A razão é simples. Tanto o perímetro do elemento, bem como o espaço interior que possuem, pertencem na sua totalidade a outros elementos. O resultado, são elementos estruturais sem regras e geometria própria (fig.278, 279 e 280).

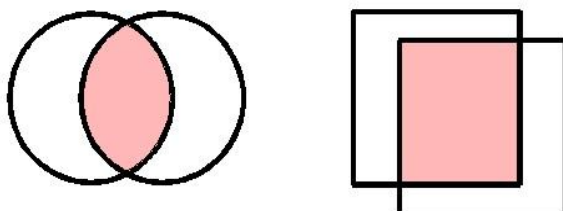


Fig. 278 – Exemplos de elementos estruturais gerados por intersecção. Nestes elementos, todo o perfil delimitador pertence a outras formas, bem como todo o espaço que delimita.

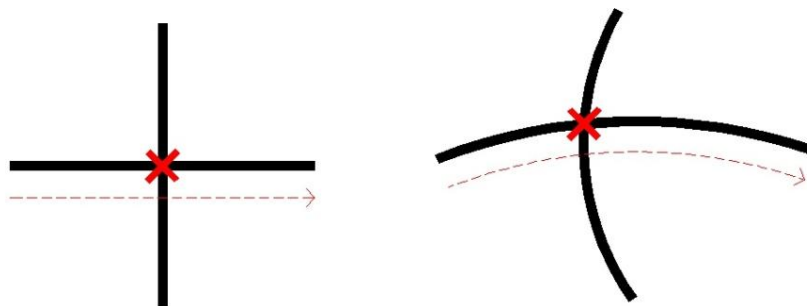
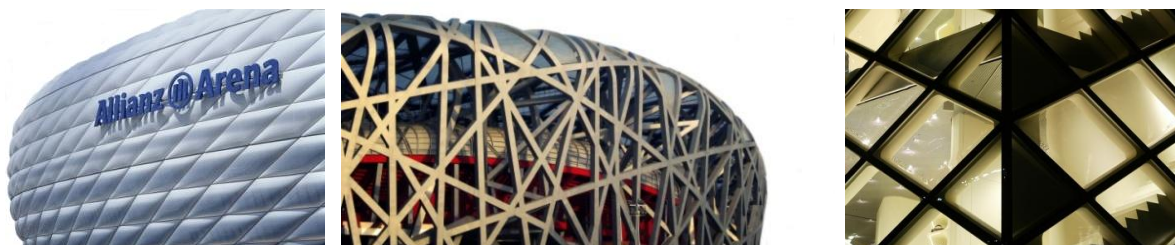


Fig. 279 – Determinação de intersecções.

Um dos sinais de intersecção é a ausência de quebra por mudança direcional do limite da forma, antes e após a intersecção. Esta particularidade, é suficiente para que a forma não tenha as suas próprias regras, pois estas expandem-se para lá dos seus limites.



Estádio Allianz (esq.), Estádio Olímpico de Beijing (centro), Loja Prada (dir.) - Herzog & de Meuron.

Fig. 280 - Exemplos de estruturas sem simplicidade estrutural. Os elementos estruturais, são todos eles gerados a partir da intersecção de outros elementos.

O modo de evitar a geração de elementos estruturais por intersecção, pode ser feita através da introdução de irregularidades que destruam a linearidade expansiva para além da forma intencionada. Essas irregularidades quebram a linearidade sem romper com a continuidade. Portanto, um elemento apenas contém o seu próprio limite e espaço interior, se após a intersecção, existir uma quebra direcional ou se simplesmente os limites dos elementos estão em contacto sem se cruzar (fig. 281 e 282).

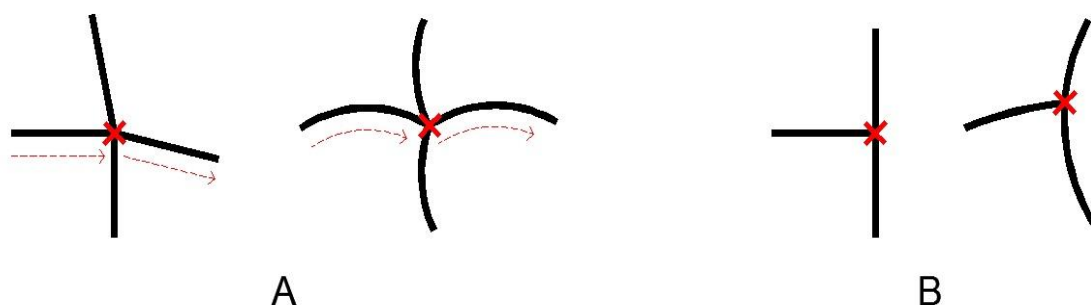


Fig. 281 – Exemplos de configurações de nós para anular o efeito de intersecção.
Duas soluções geométricas para evitar a geração de elementos estruturais por intersecção:
por quebra de direcionalidade após a passagem pelo ponto de intersecção (A)
e por termino dos segmentos no ponto de intersecção (B).

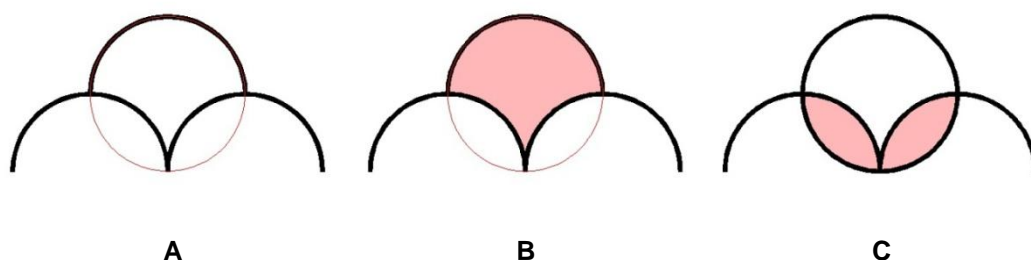


Fig. 282 – Exemplificação de nós com e sem intersecção.
O facto da forma geométrica ser um semicírculo, é preponderante, segundo esta disposição e organização espacial, para a obtenção de formas com simplicidade estrutural (A e B). Se se mantivesse a mesma organização espacial e os semicírculos fossem substituídos por círculos, algumas formas seriam fruto da intersecção de outras formas (C). Isto significa, que os limites e o espaço interno das mesmas seriam partes de limites e de espaço interno de outras formas. O resultado seriam formas sem simplicidade estrutural.

3 - Sobreposição

A sobreposição é fundamental para gerar dependência entre os elementos estruturais. Ela individualiza, agrupa e gera “cola” entre elementos adjacentes. Para que um elemento estrutural seja fortemente agarrado à composição, convém que os limites dos elementos se sobreponham. Ou seja, cada parte de um limite deve sobrepor-se com outra parte de outro limite, sem que esta zona volte a ser sobreposta por outro elemento (fig. 283 e 284).

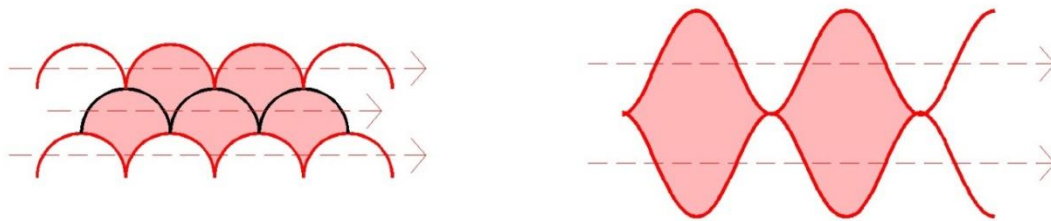


Fig. 283 – Composições geométricas com simplicidade estrutural.

Os limites sobrepõem-se, mas não se interseçam. Partes do limite de um elemento estrutural sobrepõe-se a outras partes de limites de outros elementos. É nesta sobreposição que desponta a “cola” que liga os diversos elementos estruturais de uma composição.

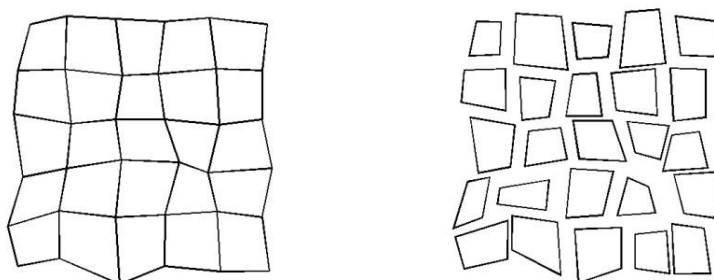


Fig. 284 – Comparação entre estruturas com e sem sobreposição dos limites dos elementos estruturais. A sobreposição dos limites torna as qualidades geométricas dos elementos estruturais recursivos (esq.).

Ou seja, a simplicidade estrutural, passa diretamente dos elementos para a composição geométrica.

A ausência de sobreposição não “cola” os elementos, tornando-os num conjunto de elementos isolados com simplicidade estrutural, em vez de uma composição geométrica com simplicidade estrutural.

4 - Caráter morfológico

O caráter morfológico da composição geométrica, também se revela como um fator de extrema importância para a obtenção de simplicidade estrutural. A sua importância está diretamente relacionada com a capacidade de sobreposição dos limites dos elementos estruturais adjacentes. De acordo com o já referenciado no ponto 3.2.1.1 (formas estruturais), as formas só conseguem produzir sensação de encaixe, se partilharem a mesma família de ângulos. Portanto, é fundamental que para haver sobreposição de limites, os elementos estruturais que compõem a composição geométrica, sejam da mesma família de ângulos. Caso contrário, a composição geométrica não irá conseguir revelar simplicidade estrutural. Os elementos que não se conseguem ligar com os restantes da composição, em nada contribuem para a coesão estrutural da mesma, revelando-se então, em excesso (fig. 285).

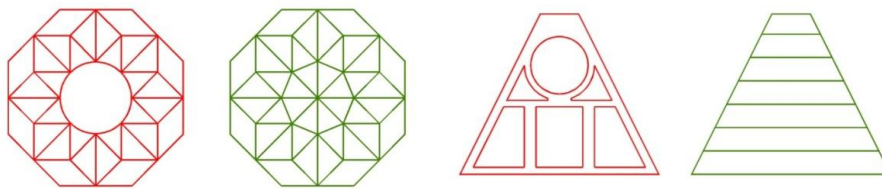


Fig. 285 – Simplicidade estrutural por compatibilidade morfológica.

As estruturas devem ser geradas com elementos geométricos familiares, para que seja possível sobrepor os limites dos elementos. As composições a verde são constituídas por elementos familiares. O resultado é uma estrutura coesa, onde tudo o que existe parece essencial à estabilidade estrutural. Nada se revela como estando a mais, mas sim, como essencial à composição. Já as composições geométricas a vermelho, não revelam as mesmas qualidades. Por exemplo, não existe nenhum elemento geométrico nas estruturas que consiga ligar-se ao círculo. O círculo é um elemento imposto sem justificação nas composições. Não existe nada na composição geométrica que a origine ou justifique a sua presença, portanto não se revela como essencial à estabilidade estrutural, mas sim, como um excesso sem dependência por nada. Quando assim é, as composições geométricas não alcançam a simplicidade estrutural.

Simplicidade em estruturas humanas de carácter arquitetónico

A simplicidade, tal como se manifesta nas estruturas vivas, é uma qualidade pouco presente nas soluções arquitetónicas. Esta análise tem como intuito, demonstrar por meio de exemplos arquitetónicos, as opções geométricas que travam a sua emergência, bem como a sua exemplificação dentro dos princípios definidos nas estruturas vivas.

- Exemplos arquitetónicos sem simplicidade

As razões da não emergência desta qualidade nas estruturas arquitetónicas são maioritariamente cinco: a ilegibilidade dos elementos estruturais, a ausência de variabilidade direcional dos perímetros dos elementos, a existência de malhas estruturais não contínuas, a geração de elementos por intersecção e a incompatibilidade morfológica.

1 - Ilegibilidade dos elementos estruturais

Uma das principais causas da sua anulação é a ilegibilidade dos seus elementos. Este fenómeno está associado à geração de estruturas com elementos estruturais abertos, ou seja, elementos que não delimitam um espaço próprio. (fig. 286).



Hotel Star Wood - Frank Gehry (esq.), Fundação Louis Vuitton - Frank Gehry (centro), Apartamentos em Nova Jersey - Herzog & de Meuron (dir.).

Fig. 286 - Exemplos de ausência de simplicidade estrutural por ilegibilidade dos elementos geométricos. As estruturas resultam da conjugação de elementos totalmente desagregados.

2 - Ausência de variabilidade direcional dos limites dos elementos estruturais

A partilha de direcionalidade por parte dos limites dos elementos estruturais pode causar também alguma perturbação na identificação desses elementos. A razão resume-se ao facto de não ser perceptível se os limites que contêm lhes são totalmente exclusivos. O prolongamento da mesma direcionalidade para lá dos nós de termino dos seus limites sugere que as propriedades geométricas de um elemento estrutural estão a ser partilhadas com outros. Tal significa, que esse elemento não contém regras próprias que o permitam definir-se na composição geométrica por si só. Portanto, se não há uma clara legibilidade estrutural, a composição também não revela simplicidade (fig. 287 e 288).

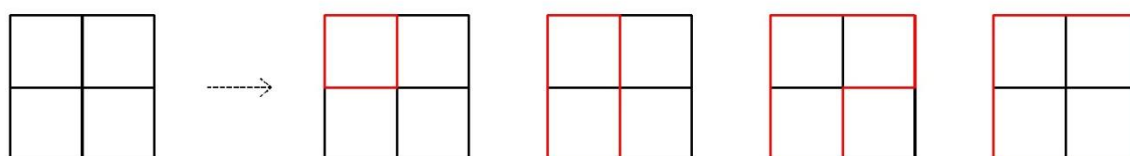
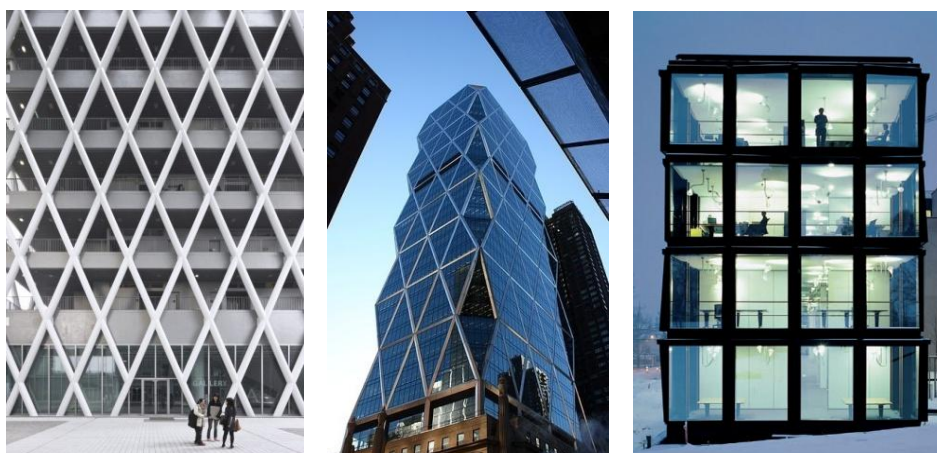


Fig. 287 – Possíveis interpretações de um elemento estrutural (perfil vermelho). Numa composição definida por quatro elementos regulares cujos limites partilham direções, o elemento estrutural pode ser percecionado de distintas maneiras. Os limites alinhados podem levar a identificar várias conjugações de elementos estruturais, pelo facto de os seus perfis transmitirem a sensação de expansão para lá dos seus limites.



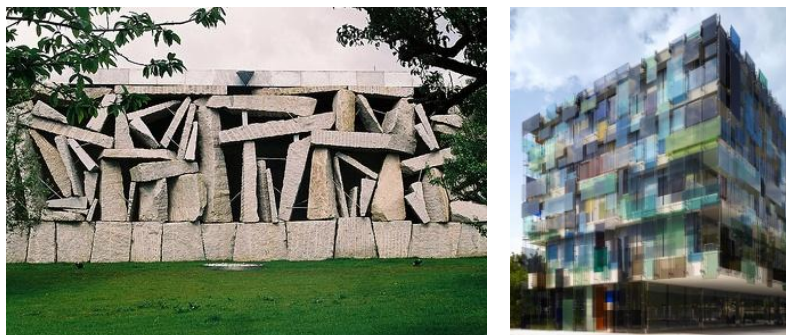
Instituto de design the Hong Kong - Thomas Coldefy e Isabel Van Haute (esq.); Torre Hearst - Norman Foster (centro); Escritórios Helvetia - Herzog & de Meuron (dir.).

Fig. 288 – Indeterminação dos elementos estruturais.

A legibilidade dos elementos estruturais aparenta ser clara, no entanto, não o é. A inexistência de quebras de direção nos nós, não dá ao elemento estrutural total independência, já que a mesma direção é partilhada pelo limite de outro elemento. Assim sendo, se não há exclusividade geométrica para cada elemento, também não pode haver simplicidade estrutural.

3 - Malhas estruturais não contínuas

A simplicidade estrutural requer que os elementos presentes na composição partilhem os limites por sobreposição. Portanto, a simplicidade estrutural requer malhas contínuas. Se esta sobreposição não ocorre, as malhas estruturais rompem-se e tornam-se conflituosas, pois os elementos deixam de revelar dependência por aquilo que a rodeia (fig. 289).



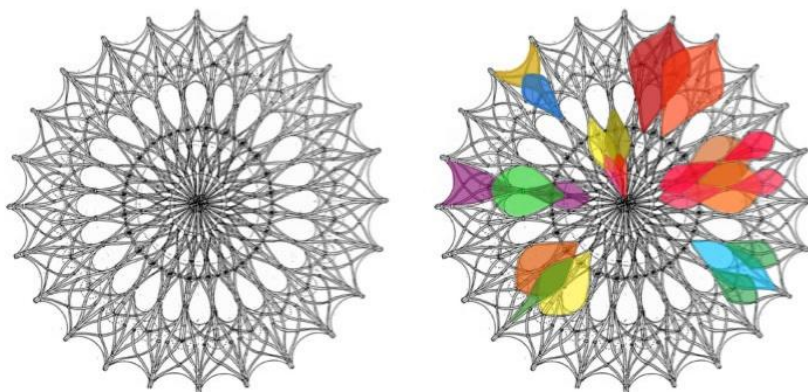
Escritório Central SGAE - Anton Garcia Abril (esq.), Forum Norvartis - Diener & Diener (dir.).

Fig. 289 – Descontinuidade das malhas estruturais.

No primeiro caso, a interrupção da malha estrutural deve-se à ausência de sobreposição dos limites dos elementos. Já no segundo, a malha não reflete qualquer tipo de continuidade, porque os elementos existem em planos espaciais distintos.

4 - Geração de elementos por intersecção

Quando vários elementos estruturais partilham partes do mesmo espaço e do mesmo limite, a legibilidade dos mesmos torna-se mais difícil. Tal como no caso da ausência de variabilidade direcional, também aqui, a intersecção pode levar a identificar várias possibilidades de interpretação formal para os mesmos limites. Normalmente, a deteção de elementos estruturais resultantes de intersecção, surge como um sinal informativo referente a excesso de elementos na composição (fig. 290 e 291).



Auerworld Palace - Sanfte Strukturen.

Fig. 290 – Exemplificação de uma composição geométrica, sem simplicidade estrutural por intersecção de elementos. Estes surgem na composição como partes resultantes de outros em intersecção.



Pavilhão Serpentine - Toyo Ito (esq.), Edifício Tod's Omotesanto - Toyo Ito (centro), Tribunal de Justiça de Hasselt - J. Mayer H. (dir.).

Fig. 291 – Outros exemplos de configurações geométricas com elementos gerados por intersecção . Em todos os casos, os elementos não têm regras próprias. As diversas, intersecções não geraram formas estruturantes, mas sim, a desfragmentação de um elemento superior em diversas partes.

5 - Incompatibilidade morfológica

A geração de malhas contínuas pelas sobreposições dos limites dos elementos estruturais em adjacência requer compatibilidade de encaixe. Isto significa, que para haver um encaixe preciso entre elementos, estes têm que partilhar a mesma família de ângulos. A introdução de elementos de outra família morfológica resulta em desagregação da composição estrutural, pois o novo elemento não consegue partilhar o mesmo sistema de encaixe, revelando-se deste modo, perturbador para a coesão estrutural da composição (fig. 292).



Catedral de Brasília - Oscar Niemeyer (esq.), Cidade das Artes e da Ciência de Valência – Santiago Calatrava (dir.).

Fig. 292 – Exemplos de ausência de simplicidade estrutural por incompatibilidade morfológica, pelo acréscimo de elementos não familiares à composição (círculo e semiesfera).

- Exemplos arquitetônicos com simplicidade

As estruturas arquitetônicas que detêm esta qualidade, por muitos complexas que algumas possam parecer, revelam com clara legibilidade a sua forma e o modo como a sua composição é estruturada (fig. 293). Para tal, muito contribuem a presença dos quatro fatores

descritos como essenciais à simplicidade estrutural (direção, intersecção, sobreposição e caráter morfológico).



Museu Niteroi - Oscar Niemeyer (esq.), Escultura em pedra de Andy Goldsworthy (centro), Iglo (dir.).

Fig. 293 – Estruturas de caráter arquitetônico com simplicidade estrutural. As composições geométricas com simplicidade estrutural, revelam-se estruturas “limpas”, onde forma e elementos são facilmente legíveis e decifráveis.

3.2.2.2.4 Rugosidade

As estruturas vivas, aparentam ter sempre uma morfologia rugosa. As superfícies como que fervilham e vibram. Apesar de estáticas, a conjugação dos diversos elementos, torna-as inquietas, dinâmicas e com muita expressividade (fig. 294).



Fig. 294 – Exemplos de rugosidade em estruturas vivas

A rugosidade é um resultado ou um efeito geométrico resultante da combinação dos três requisitos geométricos da exclusividade espacial (contraste, simetrias locais, simplicidade estrutural). Quando as três se combinam, as estruturas emergem em dinamismo (fig. 295). A composição ganha movimento por meio de um efeito de oscilação.

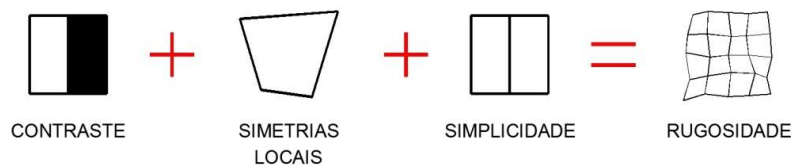


Fig. 295 – Requisitos geométricos para despontar efeito de rugosidade.

Apesar do importante papel que estes três fatores denotam na emergência de rugosidade nas estruturas, o efeito de oscilação, muito deve a sua presença a determinadas qualidades geométricas inerentes às simetrias locais. Deste, o efeito de oscilação requer a presença de pelo menos três qualidades geométricas. São estas, a variação posicional, a variação proporcional e irregularidades nos elementos (fig. 296 e 297).

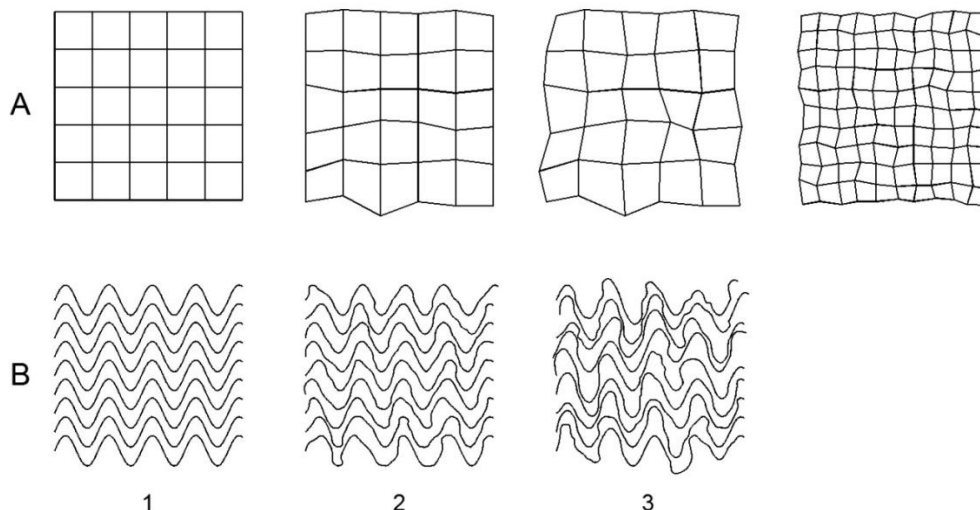


Fig. 296 – Requisitos geométricos das simetrias locais para despontar rugosidade.

A regularidade, destrói toda e qualquer tentativa de criação de rugosidade. A rugosidade, não funciona com ritmos nem com a repetição exata de elementos. A rugosidade quer aleatoriedade. A arrumação ordenada e precisa de elementos exatamente idênticos, independentemente de os elementos serem rígidos (A1) ou oscilantes (B1), criam uma massa sem expressão nem dinâmica. Para despontar a vibração, à que quebrar a regularidade. Em A2 e B2, a criação de regularidades tem aleatoriedade posicional contida. Esta liberdade não é multidirecional, o que faz com que surja pelo menos um limite rígido de proporção que tem que ser idêntico em todos os elementos estruturais. É criada dinâmica, mas sem vibração. Contudo, se a liberdade passar a ser multidirecional (A3 e B3), ou seja, sem qualquer tipo de imposição de ocupação espacial, a forma ganha vibração despontando efeito de rugosidade.

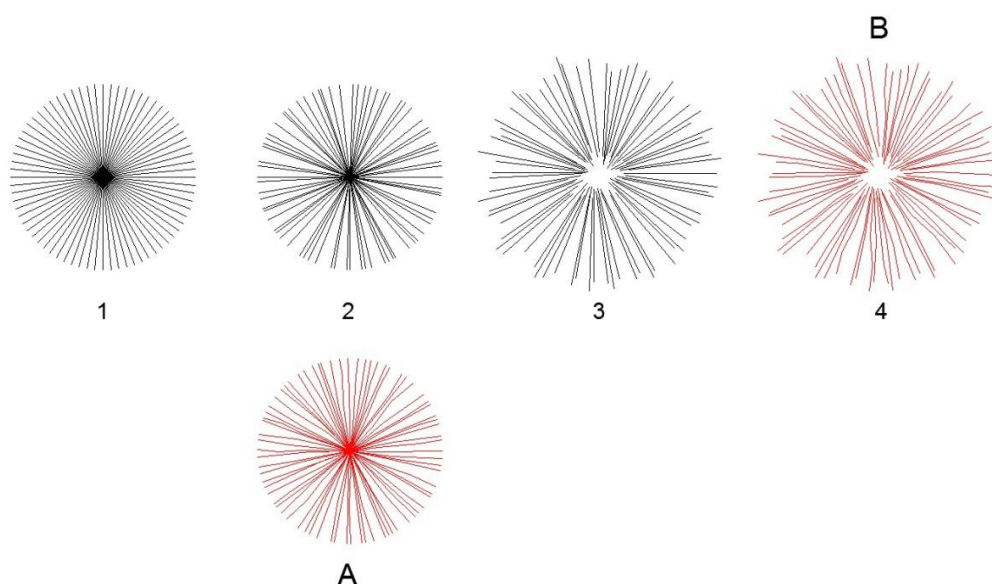


Fig. 297 – Emergência do efeito de rugosidade em configurações geométricas centroidais.

A rugosidade só se manifesta na composição geométrica, quando esta abandona toda e qualquer regra que imponha algum tipo de regularidade. Neste caso, foi necessário que os elementos da forma (1) perdessem-se a regularidade da equidistância (2), a exatidão da origem (3) e a idêntica regularidade geométrica (4). A perda de regularidade dos elementos, mantendo a regularidade da origem do mesmo, não é suficiente para obter rugosidade (A).

A problemática na interpretação do conceito de rugosidade

Apesar das explicações já efetuadas na identificação dos requisitos geométricos necessários à emergência de rugosidade, ainda pode ser motivo de discórdia, não considerar essa qualidade em determinadas soluções arquitetônicas. Portanto, é de extrema relevância, perceber as diferenças entre as qualidades geométricas da rugosidade nas estruturas vivas e no que, por senso comum, se conota por rugosidade.

Por exemplo, afirmar que as Marina Towers não têm rugosidade pode gerar discórdia (fig. 298), isto porque, o efeito ondulatório presente na fachada evidencia o contrário. A repetição de um elemento geométrico curvo, distribuído meticulosamente pela composição geométrica através de uma simetria radial, propicia o aparecimento de uma superfície com relevo. A presença de relevo, evidencia a existência de algum tipo de irregularidade tridimensional que normalmente se traduz em textura. Contudo, é no facto de se vincular textura a rugosidade que está a origem desta discórdia classificativa. É de todo indiscutível que algo rugoso aparenta sempre algum tipo de textura. No entanto, é exatamente por esse ponto, o tipo de textura, que se pode justificar a inexistência de rugosidade na fachada das Marina Towers. Esta para se expressar tal como o faz nas estruturas vivas, não resulta de uma textura qualquer. Este facto é perceptível, se se comparar o efeito de rugosidade da textura criada pelos grãos de milho numa maçaroca, com a suposta ideia de rugosidade criada pelo tipo de textura existente na fachada das Marina Towers (fig. 298). A diferença é enorme. A expressividade da composição geométrica da maçaroca de milho é de tal forma superior à expressividade obtida nas Marina Towers, que estas parecem monótonas. Apesar de ambas terem relevo, o que ressalta de imediato, é a ordenada métrica da fachada da Marina Towers contra a “desordenada” e aleatória métrica de posicionamento dos grãos de milho. A rugosidade aparenta ser destruída, quando os elementos da composição geométrica são colocados num rigor equidistante e sem falhas. Isto significa, que a rugosidade requer dinâmica aleatória. A aleatoriedade, consegue criar o efeito de oscilação muito típico da rugosidade, pelo facto de criar uma ilusão tridimensional na massa da estrutura. E essa ondulação, tem uma outra característica, vibra. Portanto, o que fortalece a sua manifestação é a não exatidão geométrica, ou seja, irregularidades geométricas e liberdade posicional. Logo, o que falha na expressividade da “rugosidade” das Marina Towers, é a ausência das qualidades geométricas das simetrias locais.



Fig. 298 – Marina Towers, Chicago, e maçaroca de milho. Comparação morfológica.



Edifício Chemnitz Stadthalle - Rudolf Weiber (esq.), Marina Towers - Bertrand Goldberg(dir.).

Fig. 299 – Exemplos de efeito de rugosidade condicionada pela repetição. Outros exemplos semelhantes aos da Marina Towers, onde a ausência das qualidades geométricas associadas às simetrias locais, não faz despontar o efeito de vibração própria da rugosidade.

Outras situações de essência geométrica existem, que podem também levantar a dúvida na identificação da rugosidade. Observe-se as imagens da fig. 300. Também neste caso, não é de total aceitação, que a imagem da esquerda detenha rugosidade e a imagem da direita não.



Escultura cerâmica - Element clay studio (esq.), Centro de Arte Contemporânea - Nieto e Sobejano Arquitetos (dir.).

Fig. 300 – Exemplo de composições geométricas com rugosidade (esq.) e sem rugosidade (dir.).

Se ambas as estruturas são constituídas por elementos geométricos irregulares com total liberdade funcional, porque desponta a rugosidade na primeira e não na segunda? A rugosidade não depende só dos “acidentes” geométricos existentes na composição geométrica, nem da liberdade espacial destas. Esta também depende do modo como os elementos estruturais se conjugam. É essencial no efeito de rugosidade, que os elementos transmitam a sensação que estão encaixadas (fig. 301). Os elementos têm que parecer colados uns aos outros. Mesmo que o espaçamento entre elementos seja mais acentuado, a sensação de encaixe tem que existir. Portanto, a ausência de efeito de rugosidade na imagem da direita da fig. 300, não desponta porque a composição geométrica da mesma não detém as qualidades geométricas da simplicidade estrutural.

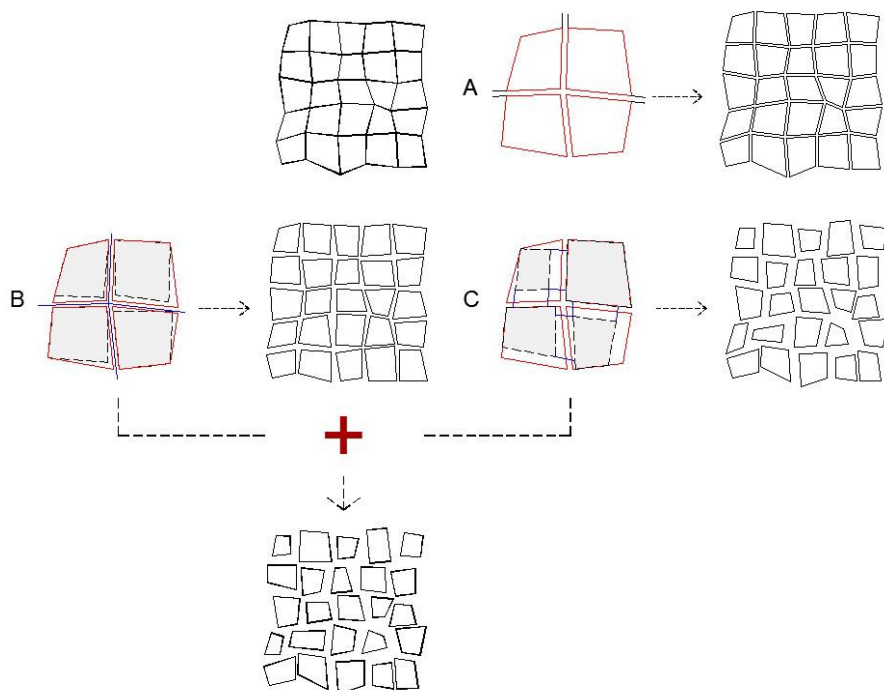


Fig. 301 – Perda do efeito de rugosidade por inexistência de encaixe dos elementos.

Se os elementos da composição geométrica inicial forem separados equidistantemente um dos outros (A), o efeito de rugosidade persiste. Se para além do afastamento entre elementos, estes sofrerem alterações nos seus limites, alterando o paralelismo dos mesmos com os elementos que lhes eram adjacentes (B), a rugosidade continua a persistir, mas com menos intensidade. Contudo, se os elementos sofrerem alterações proporcionais e posicionais no espaço, que destruam os diversos alinhamentos direcionais predominantes (C), as formas perdem a continuidade e a dependência estrutural com os elementos que lhes estão próximos. O resultado é a destruição da rugosidade.

Um outro fator, de ordem geométrica, que pode revelar-se muito influente na conotação errada de rugosidade nas estruturas, é a introdução de oscilação tridimensional. Esta particularidade é visível na estrutura desenhada por Neri Oxman, Monocoque (fig. 302). A forma é bastante contorcida e cheia de relevos, mas a rugosidade não desponta. Porquê? Considerar que uma forma tem rugosidade, apenas pelas alternâncias de relevo das superfícies, não é de todo correto. Por mais contorcidas e irregulares que estas sejam, não significa que contenham rugosidade. É sempre necessário analisar, que características geométricas estão por detrás do processo de conjugação dos elementos que lhe dão corpo. A grande razão da ausência de rugosidade, prende-se com o facto da oscilação não ser um resultado da combinação dos elementos da composição. A oscilação na forma é predefinida. Os elementos existem apenas numa função de preenchimento formal. Como é possível detetar que a forma não deriva dos elementos? Os elementos não estão ligados em continuidade, ou seja, a composição geométrica não revela simplicidade estrutural, tal como sucedeu no exemplo anterior. Portanto, se não estão em continuidade, o seu conjunto não pode gerar uma forma. Cada uma delas existe como uma forma isolada, que foi introduzida noutra composição estrutural independente. Portanto, por mais oscilante que seja a superfície geométrica, se a estrutura não revela as qualidades geométricas da simplicidade estrutural, a rugosidade não irá despontar na forma, tal como acontece nas estruturas vivas (fig. 303).



Monocoque Neri Oxman (esq.), Perceve - Pollicipes pollicipes (dir.).

Fig. 302 – Diferença entre o efeito de oscilação formal e a oscilação da rugosidade nas estruturas vivas. As oscilações formais, nem sempre são sinónimo de rugosidade. A estrutura do projeto Monocoque de Neri Oxman, é bastante ondulante, mas não detém o efeito de rugosidade (dir.). A razão está no poder de encaixe dos elementos. Os elementos existem na estrutura, mas não revelam dependência entre si, nem demonstram ser responsáveis pela estrutura em que se inserem.



Pavilhão de Espanha Expo 2010 - Enric Miralles (esq.), Loja de Departamentos Selfridges - Daniel Burnham (dir.).

Fig. 303 – Falso efeito de rugosidade por oscilação formal em estruturas arquitetónicas. Outros exemplos de estruturas que não revelam efeito de rugosidade, mas cuja configuração geométrica revela oscilação tridimensional não resultante da conjugação dos elementos que a compõem.

Exemplos de arquitetura com rugosidade

Arnheim (1988) foi um dos primeiros autores a referir-se a esta qualidade geométrica na arquitetura, denominando-a por ruído. Este autor considerava que uma das qualidades geométricas que valorizava os objetos arquitetónicos antigos face aos atuais era a sua imperfeição. Contudo, essa imperfeição, própria das estruturas naturais orgânicas e inorgânicas, não era segundo o autor, uma qualidade resultante do processo de desenho humano. Ele considerava-a como uma qualidade que emergia na arquitetura pela ação de desgaste da envolvente sobre a materialidade dos objetos. Durante a exemplificação e descrição de umas das qualidades geométricas presentes nas estruturas vivas, a exclusividade espacial, ficou demonstrado, que a rugosidade é uma qualidade que pode despontar nas estruturas humanas de um modo intencional. Para tal, os elementos estruturais que irão compor essas estruturas terão que manifestar três requisitos geométricos, contraste, simetrias locais e simplicidade. Tal facto implicará uma certa mudança no processo de conjugação dos elementos estruturais, bem como uma mudança visual nos padrões geométricos atualmente generalizados (fig. 304).



"HygroSkin" Pavilhão Meteossensitivo - Achim Menges, Fachada do Hospital Manuel Gea Gonzalez - Elegant Establishments (centro), Palácio da Cereja - AMID.cero9 (dir.).

Fig. 304 - Exemplos de estruturas humanas com rugosidade. Os elementos estruturais refletem as propriedades geométricas inerentes à exclusividade espacial (contraste, simetrias locais e simplicidade). Todos os elementos estruturais são identificáveis (contraste), a sua composição estrutural não revela repetição de ângulos de simetria iguais (simetrias locais) e os seus limites sobrepõem-se aos dos elementos adjacentes em continuidades inquebráveis (simplicidade). A presença destas qualidades origina um tipo de composição estrutural distinto dos padrões de carácter arquitetónico dominantes atualmente.

3.2.3 INTEGRAÇÃO ESPACIAL

A fácil capacidade de integração das estruturas físicas na envolvente ambiental é uma qualidade que as acompanha desde a sua forma inicial. Desde a sua origem, estas estruturas, apesar de distintas e separadas da envolvente, aparentam ser parte integrante da mesma. Esta qualidade para gerar união requer irregularidades geométricas e coerência estrutural com as restantes estruturas da envolvente.

3.2.3.1 UNIÃO

Uma das características mais surpreendentes das estruturas geradas pelo fenómeno da vida, é a sua capacidade de encaixe na envolvente. Por muito distintas que as estruturas sejam, estas não aparentam ter qualquer dificuldade de contextualização com a mesma. A união é incrivelmente espontânea e inata. Tal espontaneidade advém do modo como as estruturas se agarram à envolvente. A união entre duas formas distintas, é mais forte quanto mais ligações existirem entre as mesmas. Contudo, as ligações requerem algo mais que junção, requerem “atrito”. Quanto mais “atrito” existir entre os limites das estruturas, mais agarradas e difíceis de separar são. No entanto, como se produz atrito nas estruturas? Incutindo cortes na regularidade geométrica. Quanto mais irregularidades apresentar a estrutura, mais abrasiva e penetrante se torna. O resultado imediato são ligações mais fortes e difíceis de desfazer. Por outro lado, quanto mais regulares forem as formas, mais “escorregadias” serão as ligações (fig. 305).

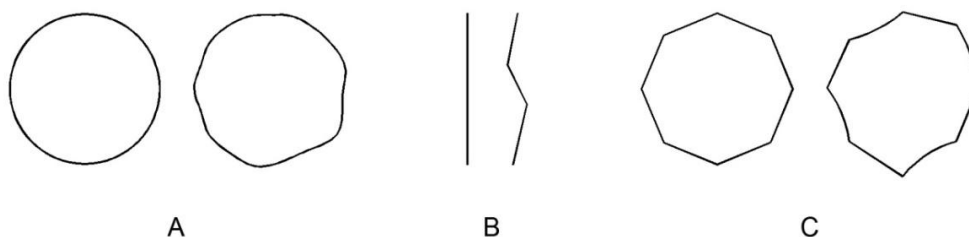


Fig. 305 – Comparação entre formas simetricamente regulares e formas com irregularidades simétricas (simetrias locais). É notório, que as formas com irregularidades simétricas, agarram-se com mais força à envolvente que as de perfil regular. As irregularidades conferem mais “atrito” na envolvente.

Por exemplo, a união entre um parafuso e uma tábua é muito mais forte do que a união entre uma tábua e um prego (fig. 306). Um prego de secção circular quando penetra na madeira, fica preso, mas não agarrado. A sua secção uniforme e regular cria muito poucos pontos de ligação com a madeira. A fusão é praticamente inexistente. Aliás, a fácil extração demonstra como “escorregadia” a ligação é. Agora, a união com um parafuso é totalmente diferente. O perfil espiralado de um parafuso, cria na forma irregularidades que lhe permitem ganhar mais atrito na madeira. As irregularidades entrelaçam os materiais e quanto mais intensa for essa ligação, mais difícil será desfazê-la. É exatamente este princípio, que as estruturas vivas aplicam nas suas estruturas. As irregularidades geométricas presentes nas formas fornecem o atrito necessário à criação de ligações fortes e inquebráveis com a envolvente. Assim sendo, é importante reter o seguinte: a regularidade geométrica, apenas prende as formas à envolvente, enquanto a irregularidade geométrica agarra as formas à envolvente.



Fig. 306 – Comparação de ligações entre um prego e um parafuso numa tábua de madeira. As irregularidades do perfil do parafuso, liga-o com mais intensidade à madeira que a secção regular do prego. O perfil do prego surge na madeira com uma “postura” invasiva, enquanto o perfil do parafuso possui uma “atitude” participativa.

Ligação à envolvente

As estruturas vivas, estabelecem a ligação à envolvente por meio de um substrato físico, que inevitavelmente contém uma forma associada. No entanto, serão essas formas aleatórias? Terão elas algum tipo de ligação padronizado?

- *Tipos de forma : ténues e densas*

Apesar das irregularidades geométricas serem um fator essencial de ligação entre forma e envolvente, o modo como esta é feita tem algumas variantes. O encaixe entre forma e envolvente, varia de acordo com a relação superfície / volume. As ligações podem apresentar-se sob formas ténues e densas. As formas ténues, são estruturas planas e estendidas, onde a área da superfície é muito superior ao volume, como é o caso das folhas das árvores. Já as formas densas, são estruturas onde o volume assume preponderância. Nas estruturas ténues, a falta de volume obriga a ligação a recorrer a superfícies alargadas e sinuosas, onde a envolvente circunda as inúmeras irregularidades geométricas do perfil. As quebras de regularidade por mudanças direcionais do perfil são uma constante e quanto mais bruscas são, mais atrito criam na envolvente (fig. 307).



Fig. 307 – Exemplo de estruturas com formas ténues.

As formas ténues, agarram-se à envolvente através de superfícies expandidas com inúmeras e repentinas quebras de regularidade geométrica.

Nas estruturas de composição geométrica densa, o volume pode manifestar-se de duas maneiras distintas, ou é um volume compacto, impondo uma rígida separação entre estrutura e envolvente (fig. 308), ou é um volume aberto, permitindo a penetração da envolvente ao longo do limite (fig. 309). O processo de ligação da estrutura à envolvente é distinto para cada uma destas variantes. Nas estruturas fisicamente compactas, as superfícies apresentam inúmeras irregularidades geométricas, de modo a torná-la o mais “abrasiva” possível. As constantes quebras de regularidade permitem um jogo de invasão e evasão espacial da estrutura na envolvente e é deste jogo que nasce o atrito necessário para as agarrar à envolvente. Já nas estruturas de volume aberto, o comportamento é distinto. A estrutura resulta da conjugação de inúmeros elementos de reduzida massa, mas de vasta superfície. Por deter essa particularidade morfológica, convida a envolvente a fazer parte da sua estrutura geométrica. Esta invade os limites da estrutura a níveis muito profundos, mas sem nunca a atravessar. É justamente nessa permissão de mútua invasão, que a estrutura cria os pontos de ligação para se agarrar intensamente à envolvente.



Fig. 308 – Exemplos de estruturas com volume compacto. As estruturas agarram-se à envolvente através das sucessivas quebras de regularidade geométrica. O jogo de invasão e ocupação espacial entre estrutura e envolvente é constante por toda a superfície.

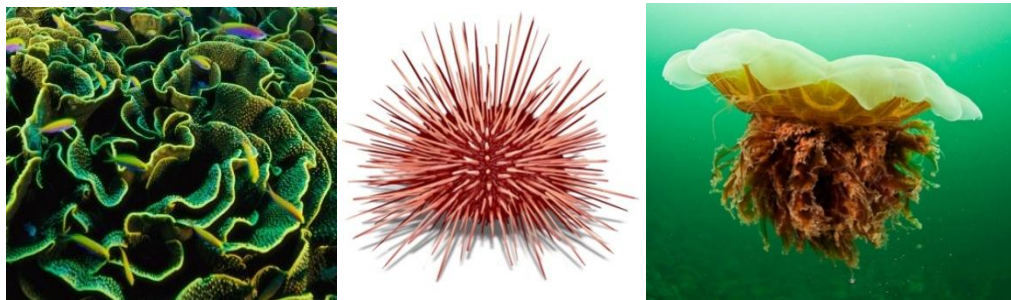


Fig. 309 – Exemplos de estruturas com volume aberto. Estas estruturas não necessitam de quebras tão repentinas, porque a envolvente e os elementos que compõem o volume, sobrepõem-se numa grande percentagem física da estrutura. Portanto, a zona de ligação é bastante extensa e intensa.

- *Padrão geométrico das ligações: Concavo e convexo*

A zona de transição entre estrutura e envolvente, raramente se apresenta sob a forma de uma linha reta. As composições geométricas das estruturas vivas, contactam com a envolvente ou mediante uma sucessão de superfícies concavas, ou convexas. O fim e o princípio de cada

uma destas superfícies, é claramente demarcada por um vértice, assinalando este uma mudança de direcionalidade do limite estrutural. A concavidade e convexidade das estruturas, é fundamental para obter uma das mais importantes qualidades das estruturas vivas, a sensação de forma fechada ou completa (fig. 310). A superfície curvilínea não transmite a sensação de corte da linha reta, mas sim, uma sensação de envolvimento ou de invasão. Estas quando dispostas ao longo de um perímetro fechado, delimitam uma estrutura com grande poder de encaixe na envolvente. Apesar de uma estrutura irregular, com troços retos, apresente um poder de encaixe com a envolvente superior ao de uma estrutura regular, esta não alcança a intensidade de encaixe de uma estrutura composta por superfícies concavas e convexas. Estas superfícies, apresentam maior capacidade em aguentar a ação de forças internas ou externas, pelo seu poder de “elasticidade”. Estas denotam poder de deformação sem implicar rotura estrutural, enquanto que as superfícies retas não (fig. 311). Portanto, a versatilidade de deformação, permite uma maior capacidade de acomodação às ações da envolvente, o que se traduz em capacidade de encaixe.

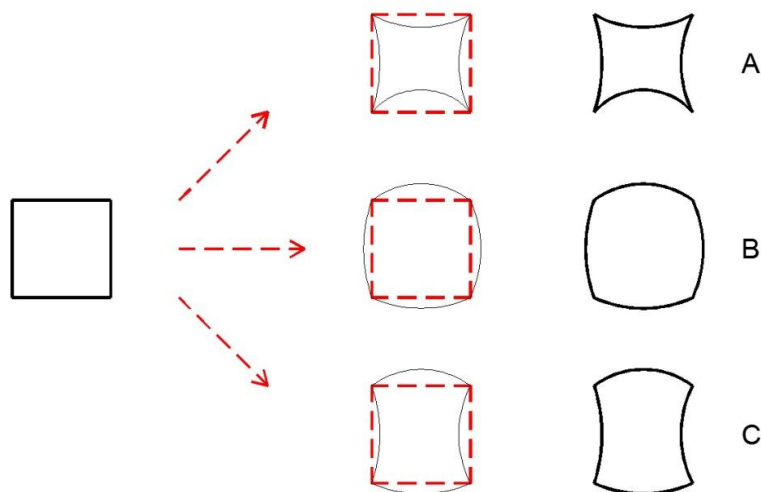


Fig. 310 – Exemplos dos tipos de deformação existentes nas formas das estruturas vivas.
 (A) – Relação limite / envolvente com superfície concava. (B) - Relação limite / envolvente com superfície convexa. (C) - Relação limite / envolvente com superfície concava e convexa.
 A inclusão de concavidade e convexidades nos limites das formas, retiram à forma inicial, o aspeto seccionado, de algo que foi interrompido e que faz parte de algo mais, para dar lugar a uma sensação de forma fechada e completa.

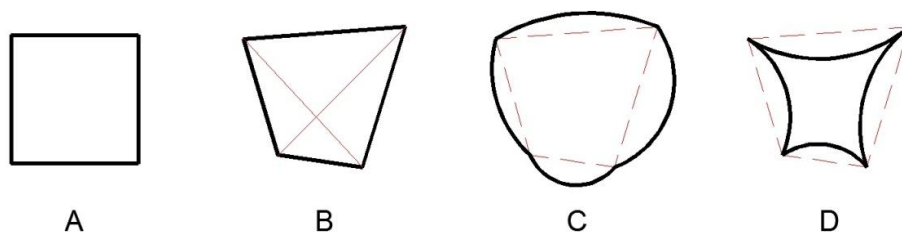


Fig. 311 - Deformação e capacidade de encaixe.

As formas C e D, denotam maior poder de encaixe com a envolvente que as formas A e B, devido à capacidade de deformação que as superfícies concavas e convexas têm em suportar ações internas e externas à estrutura. Esta elasticidade, confere-lhes uma maior resistência à rotura estrutural que as formas com limites retos.

União e coerência

As estruturas vivas, têm a particularidade de se fundir, ligar e ser indistinguíveis na envolvente, mas essa unicidade e distinguibilidade não gera oposição ou afirmação de umas estruturas face a outras. Estas existem na envolvente em completa igualdade, ou seja, são coerentes (fig. 312). E esta coerência expande-se às ligações. As ligações entre estruturas e destas com a envolvente, é mais forte se houver coerência estrutural. Porquê? As estruturas vivas ligam-se por separação, ou seja, o encaixe destas com a envolvente física que a rodeia não é feita por continuidade física de outras estruturas existentes, mas sim, por coexistência de proximidade. Portanto, se for necessário encaixar estruturas sem uma união física, estas têm ser coerentes, ou seja, têm que partilhar estratégias semelhantes de união para que não haja repulsa, mas sim, atração (fig. 313 e 314). E se as estruturas forem coerentes por separação e não por ligação direta, estas podem fundir-se umas nas outras e tornar-se inseparáveis.



Fig. 312 - Exemplo de como as estruturas vivas se tornam inseparáveis por separação.

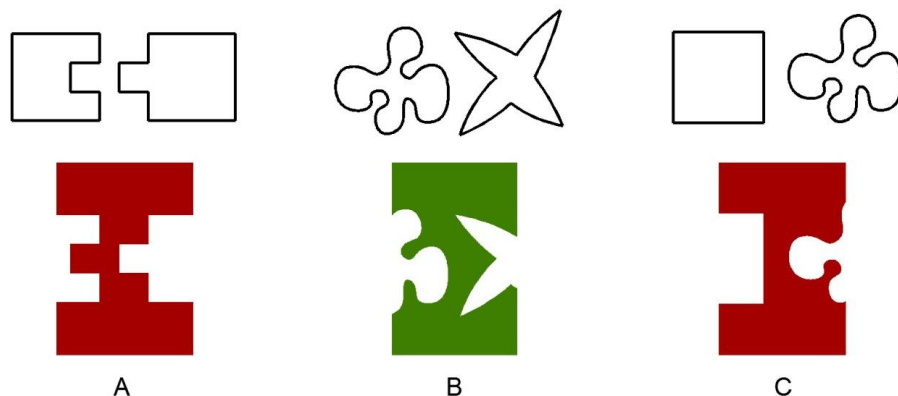


Fig. 313 – Comparação entre estruturas coerentes por ligação direta (A) e estruturas coerentes por separação (B). As estruturas da figura (A) produzem entre si uma ligação por encaixe físico perfeito, ou seja, conseguem sobrepor grande parte da sua estrutura física. Contudo, com tal tipo de encaixe, estas perdem carácter e personalidade, pois passam a coexistir como uma única identidade. No caso das estruturas de (B), é quase impossível criar zonas de sobreposição física, o que demonstra que coexistem na envolvente por separação e que as suas identidades e carácter são intocáveis. No entanto, é o tipo de espaço gerado entre as mesmas, que permite que se fundam e se tornem inseparáveis. Esta terceira entidade, partilha da mesma coerência geométrica das estruturas, dando a sensação que as estruturas separadas estão ligadas em continuação. O perfil sinuoso e abrupto das estruturas, como que cria no espaço, uma cola que as une mesmo sem contacto. Tal só é possível, se as estruturas forem coerentes, ou seja, não tiverem qualquer tipo de protagonismo por parte de uma delas, como sucede com as estruturas da figura (C).

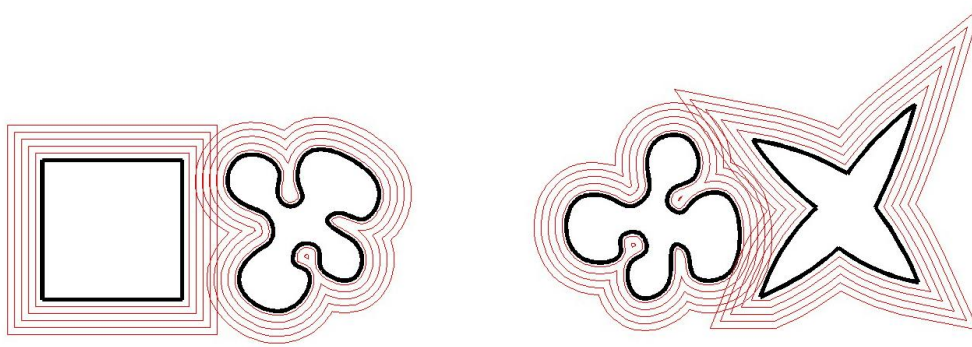


Fig. 314 – Demonstração dos níveis de coerência estrutural por meio de campos de força. A união entre as estruturas da figura da esquerda, demonstra ser bastante ríspida. As ondas de expansão emanadas por cada estrutura, como que se aniquilam. A estrutura regular, opõe-se de um modo muito rígido à entrada das ondas sinuosas da outra estrutura, dando mesmo a sensação de choque e de repulsa. Portanto, está-se perante duas estruturas geométricas não coerentes. Já na figura, da direita o caso é distinto. As ondas de expansão ao intersestar-se, como que originam um jogo de fusão. Não geram confronto. Estas fluem umas pelas outras, partilhando um espaço comum. Quando assim é, está-se perante duas estruturas coerentes, simultaneamente separadas e unidas pelo espaço vazio existente entre ambas.

União em estruturas humanas de caráter arquitetónico

Para uma clara interpretação da presença desta qualidade geométrica na arquitetura, esta será exposta primeiramente, recorrendo a exemplos de estruturas arquitetónicas que exemplifiquem as razões da sua ausência e posteriormente comparadas a exemplos arquitetónicos, cujas soluções geométricas propiciam a sua presença.

- Fatores que influenciam a ausência de união na arquitetura

A grande maioria das composições geométricas de caráter arquitetónico atuais, apesar de distintas da envolvente, impõem-se nesta pela separação. É certo que as estruturas vivas também geram formas distintas da envolvente, mas ao invés das estruturas humanas, estas conseguem unir-se com a mesma. A dificuldade atual em agarrar a estrutura à envolvente, deve-se a decisões de essência geométrica. Opções como a regularidade geométrica, ligações sem diversidade geométrica, perfuração da massa estrutural e o rígido posicionamento espacial dos elementos, não abonam em favor da união. Cada um deles, condiciona o encaixe da estrutura na envolvente de um modo distinto, mas só a ausência de todos eles permitirá desenvolver ligações mais intensas com a envolvente.

1 - Regularidade geométrica

A grande dificuldade em agarrar uma composição geométrica da arquitetura convencional à envolvente está fortemente relacionada com a regularidade das estruturas geométricas. Tudo é meticulosamente perfeito. Os mesmos ângulos repetem-se uma e outra vez

ao longo da composição estrutural, sem que estas apresentem qualquer tipo de quebra ou interrupção. O resultado são formas presas e monótonas, que criam uma forte barreira com a envolvente, vincando firmemente a sua oposição pela separação na mesma (fig. 315).



Pavilhão Viex Port – Norman Foster (esq.), Instalação para jardim – SANAA (centro),
Edifício de apartamentos Lafayette – Mies van der Rohe (dir.).

Fig. 315 – Exemplos de estruturas arquitetônicas sem união.
A regularidade geométrica da forma, não facilita a ligação com a envolvente.
As ligações são sempre iguais, ou seja, partilham os mesmos ângulos internos.

2 - Ligações sem diversidade geométrica

A quantidade de ligações, é um fator preponderante para unir a forma à envolvente, mas tal, não garante por si só, o sucesso da união. Esta requer que a quantidade inclua diversidade. A ideia implícita a esta exigência é simples. Se para cada ligação bem-sucedida, for necessário uma solução para a quebrar, então quanto mais variadas forem as ligações, mais soluções terão que ser encontradas para quebrar a união. Agora se um tipo de ligação for repetido uma e outra vez pela estrutura, basta uma única solução para as conseguir quebrar, o que diminuiria a resistência da união mais rapidamente. Portanto, quanto mais variadas forem as ligações, mais resistência oferece a estrutura às tentativas de desunião com a envolvente.

Em termos geométricos, a diversidade das ligações, está diretamente relacionada com a diversidade dos ângulos internos que compõem a estrutura de cada elemento (fig. 316). Ângulos internos iguais tornam a forma rígida e pouco unida à envolvente, enquanto ângulos internos semelhantes dinamizam a forma e tornam-na mais agarrada ao que a rodeia (fig. 317).

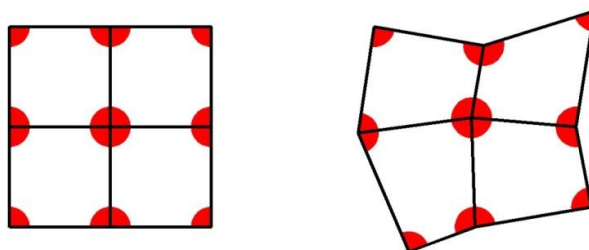


Fig. 316 – Diferença de união entre formas com e sem diversidade de ângulos internos.
Exemplo de como a diversidade dos ângulos internos é crucial para aumentar a resistência à desagregação da estrutura na envolvente (dir.). As estruturas com ângulos internos semelhantes, são mais agressivas e invasoras, enquanto as estruturas com ângulos internos iguais, oferecem resistência à invasão, tornando-se rígidas e presas em si próprias (esq.).



Lar de idosos de Alcácer do Sal – Aires Mateus (esq.), Museu de Cantabria – Mansilla & Tuñón (dir.).

Fig. 317 – Influência da regularidade e da irregularidade da forma arquitetónica na união à envolvente.

Ambos os exemplos detêm múltiplas ligações, a diferença está no tipo de estrutura geométrica.

A estrutura da esquerda, procura realizar a união com elementos geométricos regulares, enquanto que a estrutura da direita, procura gerar essa união com elementos irregulares. A ligação da segunda, é mais intensa. Os ângulos internos dos elementos são diversificados. Apesar de familiares, a estrutura geométrica dos elementos não se repete, criando assim, diversidade de ligações que refletem mais “atrito” e consequentemente, uma união mais intensa com a envolvente.

3 - Ligações por perfuração da massa estrutural

A união é inteiramente dependente da estrutura geométrica do limite. O limite quando invadido pela envolvente requer sempre uma barreira física que imponha um fim a essa invasão. Isto significa, que a invasão é um processo contínuo e gradual e nunca uma transposição formal. A criação de vazios no interior das composições, sem a criação de qualquer perturbação geométrica no limite, bem pode aumentar a superfície de contacto da mesma com envolvente, que esta não se irá traduzir em aumento de atrito, muito pelo contrário, oferece menos resistência à passagem da envolvente. A interrupção que estes vazios criam na contínua gradação dos elementos estruturais, também retira coesão à estrutura, tornando-a mais frágil e quebrável (fig. 318, 319 e 320).



Centro Rolex – SANAA (esq.), Torre sustentável – Architecture As A2 (dir.).

Fig. 318 – Exemplos de estruturas arquitetónicas sem união por perfuração da massa estrutural.

A ligação da forma à envolvente falha nestes dois exemplos em dois pontos. Primeiro, a zona interior da estrutura deixa-se atravessar pela envolvente e segundo, os seus limites não sofrem qualquer tipo de quebra geométrica. São meticulosamente regulares e detêm a agravante da repetição direcional (paralelismo).

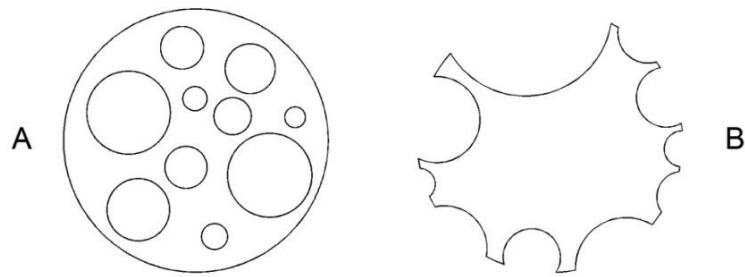


Fig. 319 – Forma sem união (A). Forma com união (B).

Por muitos acidentes internos que a forma (A) apresente, a regularidade do seu limite não a permitirá agarrar-se à envolvente com intensidade. Na forma (B) a união é forte, porque a estrutura apresenta diversificadas ligações com a envolvente, apoiadas numa composição estrutural coesa e compacta.

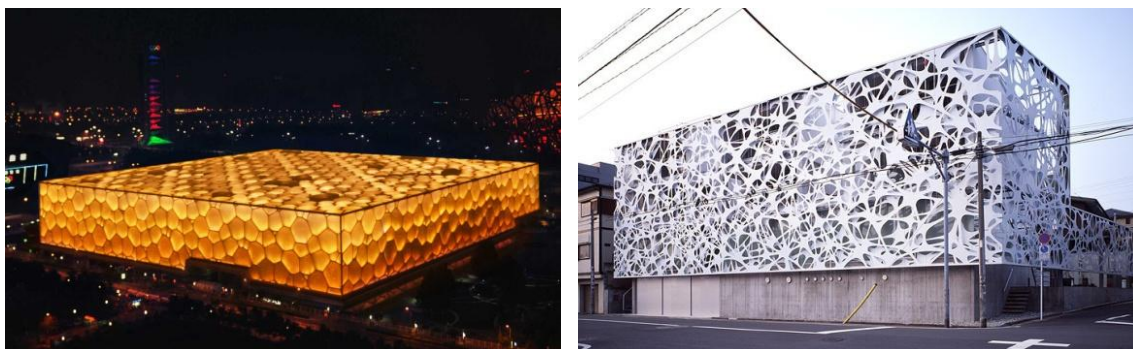


Círculo da vida – Goddard Group (esq.), Escultura de Andy Goldsworthy (dir.).

Fig. 320 – Exemplos de formas geradas pelo homem, com e sem união. A regularidade do “ring of life” (esquerda) impõe uma barreira rígida entre a forma e o que a envolve. A escultura de Andy Goldsworthy, pelo contrário, tenta fundir-se com a envolvente, através da desfragmentação da estrutura, permitindo que a envolvente invada o limite da forma e vice-versa. O resultado, é uma estrutura que se agarra à envolvente com mais intensidade.

4 - Rígido posicionamento espacial

Um outro fator, de extrema importância na geração de atrito, é a liberdade posicional dos elementos. Os limites estruturais não devem estar presos a uma estrutura regular superior. Se as irregularidades geométricas estiverem contidas numa outra que delimite rigidamente a sua expansão no espaço, os elementos serão arrumados em favor dessa regularidade. Portanto, por muito irregulares que sejam os elementos, se o seu conjunto produz regularidade, a forma ganha rigidez e perde capacidade de fusão, impondo-se na envolvente por separação e não pela união (fig. 321).



Centro Nacional Aquático de Beijing - PTW Architects (esq.), Airspace Tokyo - Faulders Studio (dir.).

Fig. 321 – Imposições espaciais.

Por muito irregulares que sejam os elementos estruturais, se o seu posicionamento e expansão está delimitado por uma regra oculta rígida, estas formas são impedidas de unir-se espontaneamente com a envolvente.

Um sinal que identifica este tipo de imposição geométrica, é a sensação de extrusão (fig. 322). As estruturas, aparentam ser parte de um troço de uma estrutura geométrica sem fim aparente, devido à predominância de paralelismo. Portanto, as irregularidades geométricas não devem limitar a sua presença à bidimensionalidade. Os limites geométricos requerem irregularidades tridimensionais. As variações geométricas devem romper o paralelismo e devem manifestar-se de igual modo por toda a composição estrutural.



Pavilhão da Serpentine Gallery - Toyo Ito (esq. cima), Posto de controlo fronteiriço de Sarpi - J. Mayer H. Architects (dir. cima), Áreas de Paragem na Georgia - J. Mayer H. Architects (esq. baixo), Torre O – 14 - Reiser + Umemoto Architects (dir. baixo).

Fig. 322 - Ausência de espontaneidade de ocupação espacial.

A união requer espontaneidade de ocupação espacial, ou seja, uma liberdade posicional tridimensional dos seus elementos. A imposição de limites de expansão espacial prende as formas, conferindo-lhes uma aparência seccionada.

- Exemplos arquitetônicos com união

A união é uma qualidade geométrica que tem vindo a desaparecer dos objetos arquitetónicos, essencialmente pela adoção cada vez mais frequente das soluções geométricas anteriormente referidas. No entanto, exemplos há, em que a sua presença é comprovada. Tal como nas estruturas vivas, esta qualidade geométrica, também pode emergir nas estruturas arquitetónicas mediante formas ténues e densas. Para uma melhor interpretação das mesmas em estruturas arquitetónicas, estas serão referenciadas isoladamente.

1 - União em estruturas arquitetónicas com formas ténues.

Este tipo de estruturas caracteriza-se por conter formas muito lineares e extensas, que invadem e se deixam invadir pela envolvente, sem que esta perfure a composição geométrica. As ligações, são geometricamente diversificadas pela semelhança e não pela cópia. Tal facto, confere-lhes uma grande diversidade de ligações, favorecendo o poder de encaixe com a envolvente (fig. 323).



Pavilhão da Serpentine Gallery (Sanaa).

Fig. 323 - Exemplo de união através de formas ténues. As superfícies concavas e convexas, não repetem as mesmas configurações geométricas, fazendo com que a estrutura crie uma forte dinâmica de envolvimento com a envolvente.

2 - União em estruturas arquitetónicas com formas densas.

Em estruturas com formas de volume compacto e aberto, a fragmentação irregular provocada pela constante mudança direcional nos planos dos elementos estruturais, favorece a criação de atrito entre as estruturas e a envolvente (fig. 324 e 325).



Casa da Música - Rem Koolhaas (esq.), Torre Fog - Alberto Feández e Susana Ortega (centro), Pavilhão Philips - Le Corbusier (dir.).

Fig. 324 – Exemplos de união com estruturas densas por volume compacto. A variedade direcional dos limites, molda as estruturas com um vasto e diversificado leque de ligações, o que as torna como que inamovíveis do local. É nessa impossibilidade de mobilidade, que reside a intensidade de encaixe entre estrutura e envolvente.



Templo Bedugul (esq.), Pavilhão Pele de Dragão – Universidade de Tecnologia de Tampere (dir.).

Fig . 325 – Exemplos de união com estruturas densas por volume aberto. Forma e envolvente, sobrepõem-se num jogo múltiplo de invasões espaciais, criando uma sensação de fusão nas suas fronteiras.

3.2.4 CONCLUSÃO

A análise efetuada demonstrou que as características geométricas identificadas na identidade morfológica das estruturas vivas, não são estranhas à arquitetura (fig. 325). A ausência das mesmas deve-se essencialmente a questões de opção geométrica. Portanto, este facto, demonstra que a divergência de qualidades morfológicas que estas auferem face às de origem biológica, advém de um problema de desenho. No entanto, a resolução não evidencia passar apenas pela implementação das soluções geométricas de cada uma dessas características. Apesar de existirem na estruturas arquitetónicas, estas não despontam em simultâneo nas mesmas. A sua presença em pequenos grupos, revela que estas operam por dependência. E se esta dependência não as faz emergir em simultâneo, então é porque o processo de desenho humano não lhes proporciona meios para tal. A sua presença nas estruturas vivas, advém de um processo de desenho fundamentado em mecanismos de crescimento. Portanto, parece pertinente que a transferência de tais características para as estruturas arquitetónicas deva contemplar não só as características geométricas, como também, o processo que as faz emergir.

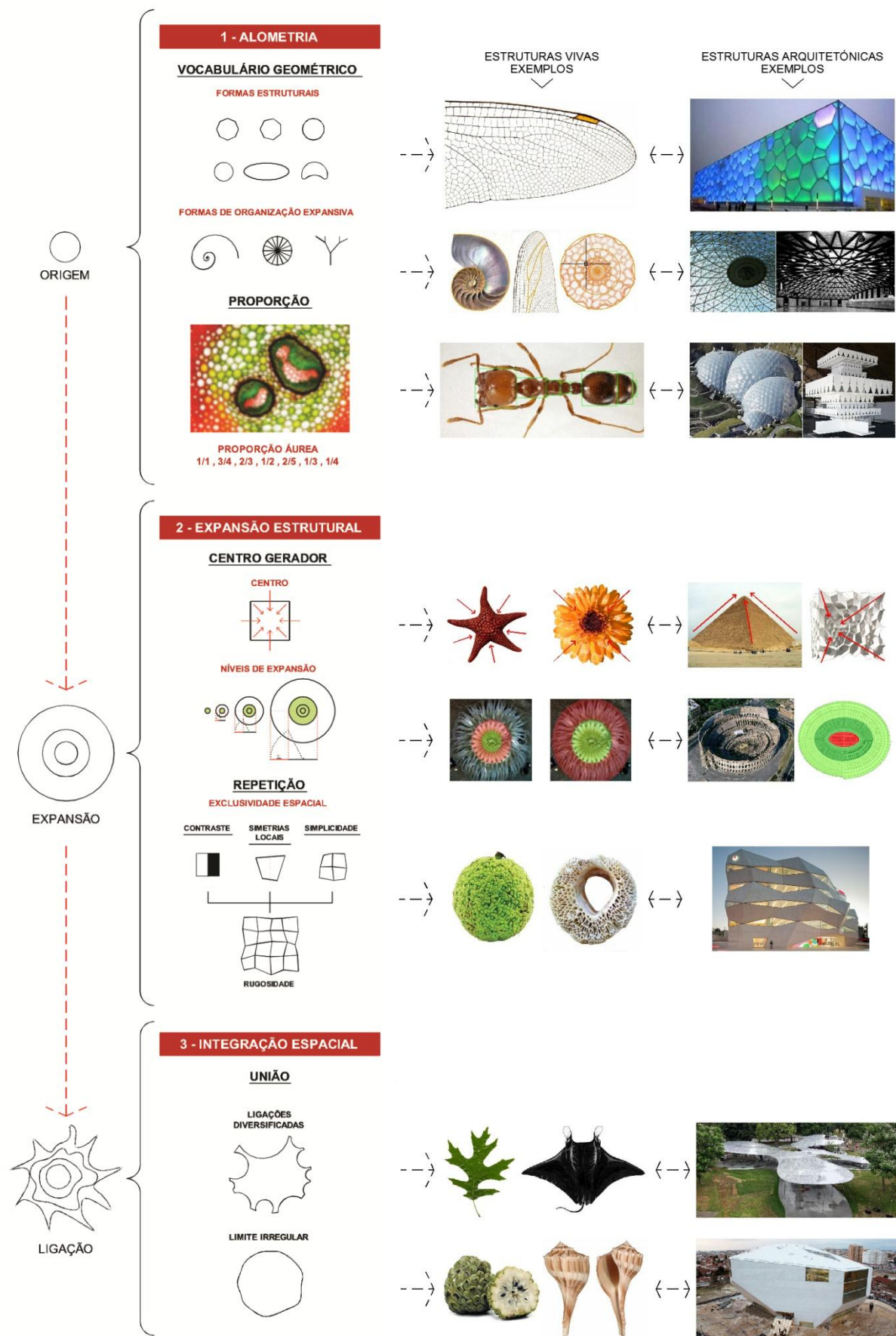


Fig. 326 – Características geométricas em estruturas vivas e em estruturas humanas de caráter arquitetônico _
 resumo

CAPÍTULO 4 - PROCESSO DE DESENHO

4.1. ABORDAGEM DAS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS PELAS FERRAMENTAS DE DESENHO

Definidas as características geométricas, há que iniciar a sua transferência para um processo de desenho. Face à natureza das mesmas, a transferência é realizada mediante duas ferramentas de desenho: diagrama de Voronoi e gramáticas da forma.

O diagrama de Voronoi, é um processo de desenho generativo, usado na reprodução de texturas naturais. Os seus padrões típicos revelam algumas das características geométricas associadas à identidade das estruturas vivas. Partilham do mesmo vocabulário geométrico (elementos poligonais e cónicos). As suas malhas geométricas resultam da repetição de elementos com o mesmo carácter morfológico. Esses elementos detêm exclusividade espacial, ou seja, revelam ser continuidades inquebráveis de elementos geométricos perfeitamente definidos (contraste), irregulares (simetrias locais) e organizados em continuidade (simplicidade). A recursão das irregularidades geométricas dos seus elementos para a composição desponta também nas composições, capacidade de união com a envolvente. Estas revelam conter limites irregulares com multi-diversidade de ligações (fig. 327).

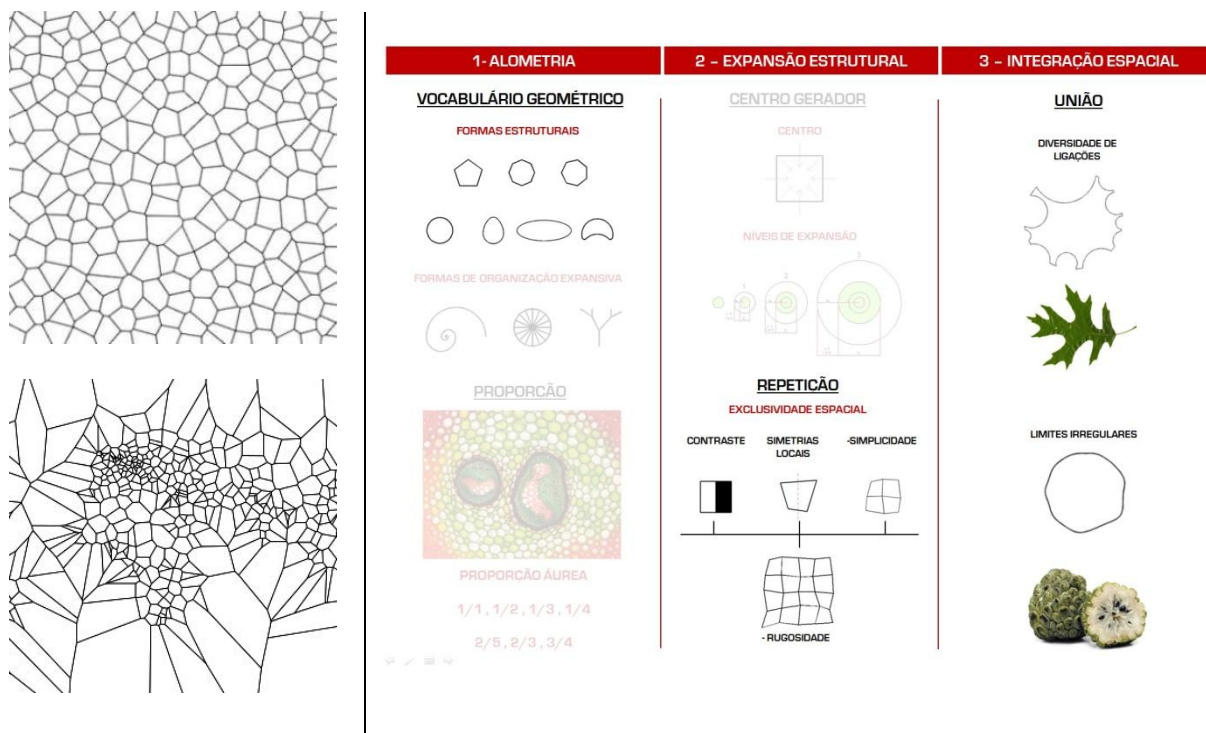


Fig. 327 – Identificação das características geométricas das estruturas vivas presentes nos diagramas Voronoi.

Contudo, os diagramas de Voronoi demonstram versatilidade para despontar outras características nas composições. Observe-se as imagens da fig. 328. Estes diagramas estão estruturados a partir de um cento gerador. Esta particularidade, desmonstra que os elementos estruturais podem ser associados a formas de organização expansiva. Mediante este tipo de organização, os diagramas de Voronoi já conseguem responder positivamente, às características geométricas definidas para o processo de desenho.

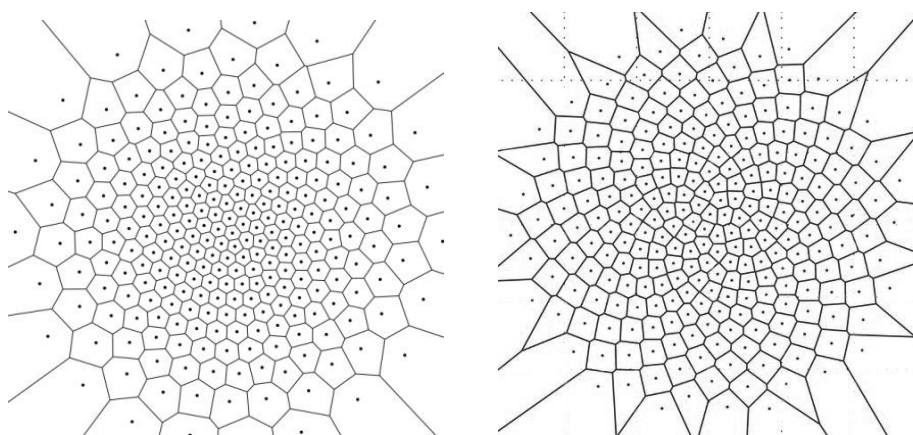


Fig. 328 - Diagramas de Voronoi com geração centroidal.

No entanto, serão estas características intrínsecas aos diagramas de Voronoi? A resposta é não. A composição conseguiu obter essas qualidades geométricas, porque os elementos estruturais que as compõem foram ordenados para tal. Os diagramas de Voronoi, são gerados mediante a localização de pontos no espaço. Se o posicionamento destes no mesmo for organizado tendo em vista uma composição centroidal, os polígonos estruturais vão ocupar o seu espaço mediante a ordem dada pelos pontos. Isto significa, que para gerar diagramas que revelem todas estas qualidades geométricas, a disposição dos pontos referenciais de geração do sistema, têm que ser controlados para esse fim. É precisamente, com o intuito de ordenar o posicionamento dos mesmos, que o processo de desenho recorre às gramáticas da forma.

As gramáticas da forma são também um processo de desenho generativo. Contudo, distinguem-se do processo de desenho dos diagramas de Voronoi, pelo facto de estruturar o seu funcionamento mediante um processo de sucessivas transformações. Esta ferramenta propicia a geração de elementos a partir de outros já existentes. Portanto, pode ser usada para gerar os pontos referenciais do sistema de triangulação dos diagramas de Voronoi, como também pode controlar , através dos mesmos, as relações proporcionais a implementar nas composições (fig. 329).

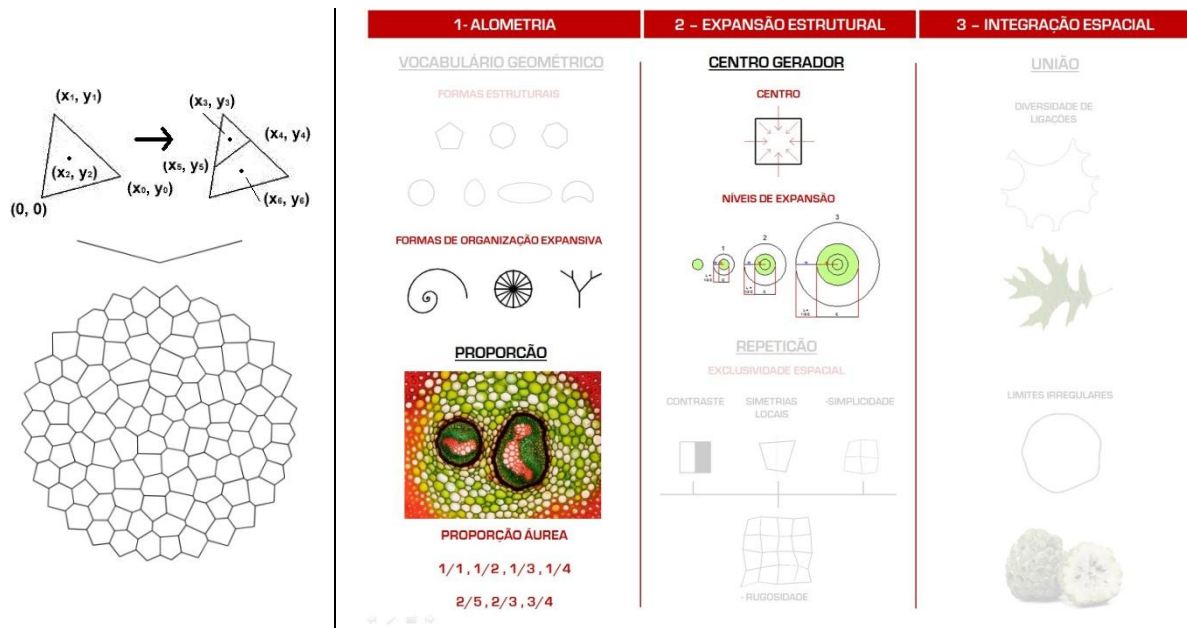


Fig. 329 – As características geométricas a gerar nos diagramas de Voronoi, através das gramáticas da forma.

Sendo as gramáticas da forma, o mecanismo de controle da composição geométrica, esta é estabelecida como a ferramenta de desenho principal de todo o processo generativo. Os diagramas de Voronoi, terão um processo de desenho secundário, pois apenas operam sobre as gramáticas da forma, no momento em que seja necessário dar “corpo” às composições. Portanto, a sua participação no processo de geração de forma é pontual. Contudo, para evitar conflitos operativos, o processo de geração dos elementos estruturais, inerentes aos diagramas de Voronoi, são transferidos para a linguagem das gramáticas da forma. Deste modo, todo o processo generativo funcionará coerentemente numa mesma linguagem e em favor de uma mesma identidade morfológica.

4.2. PROCESSO DE GERAÇÃO DE FORMA _ FASES

Como é feita a passagem destas características para um processo de desenho? Através de criação de regras descritas, com linguagem gráfica e algébrica das gramáticas da forma. Esta gramática, vai dividir o processo de geração de forma em quatro fases distintas, cada uma das quais, com as suas próprias regras (regras globais, regras de controlo formal, regras locais e regras espaciais). De ressaltar ainda, que a gramática elaborada é uma gramática paramétrica. Isto significa, que as regras devem ser interpretadas por parâmetros geométricos e não pelo rigor dimensional da sua geometria na descrição gráfica das mesmas.

4.2.1 REGRAS GLOBAIS

Para se iniciar o processo de geração de forma, mediante as características geométricas referenciadas, é necessário antes que tudo definir o tipo organização expansiva com que se irá processar a geração das mesmas. Como descrito no ponto 3.2.1.1 (vocabulário geométrico), as formas estruturais podem ser organizadas mediante três tipos de expansão: espiral, onda e ramificação. Devido à unicidade geométrica de cada uma delas, não é possível abordá-las mediante uma descrição gramatical comum. Por esta razão, a gramática que se inicia com a descrição das regras globais, irá apenas contemplar a expansão em onda (fig. 330).



Fig. 330 – Exemplos de estruturas vivas com formas de organização expansiva em onda.

Como já demonstrado no ponto 3.2.2.1.2 (níveis de expansão), as estruturas vivas proliferam no espaço mediante níveis de expansão que advêm de um mesmo centro. Estes são de tal forma importantes na composição geométrica, que todos os elementos estruturais são organizados mediante as suas regras. Este facto sugere que os níveis de expansão desempenham um papel de base estrutural. Portanto, parece claro e importante, que a primeira fase do processo de desenho seja destinado ao desenvolvimento de bases estruturais com princípios geométricos idênticos, onde se irão referenciar todas as fases seguintes. Assim sendo, as regras globais irão controlar as relações proporcionais da forma, bem como as variações proporcionais existentes entre os elementos que lhe irão dar forma. Para tal, o processo de geração, terá que ter em conta o seguinte: os níveis de expansão devem ser gerados a partir de um centro comum e as ordens de grandeza na geração dos níveis, deve obedecer às relações proporcionais centro / nível de expansão definido no ponto 3.2.2.1.2 (ordem de magnitude dos níveis de expansão) (fig. 331).

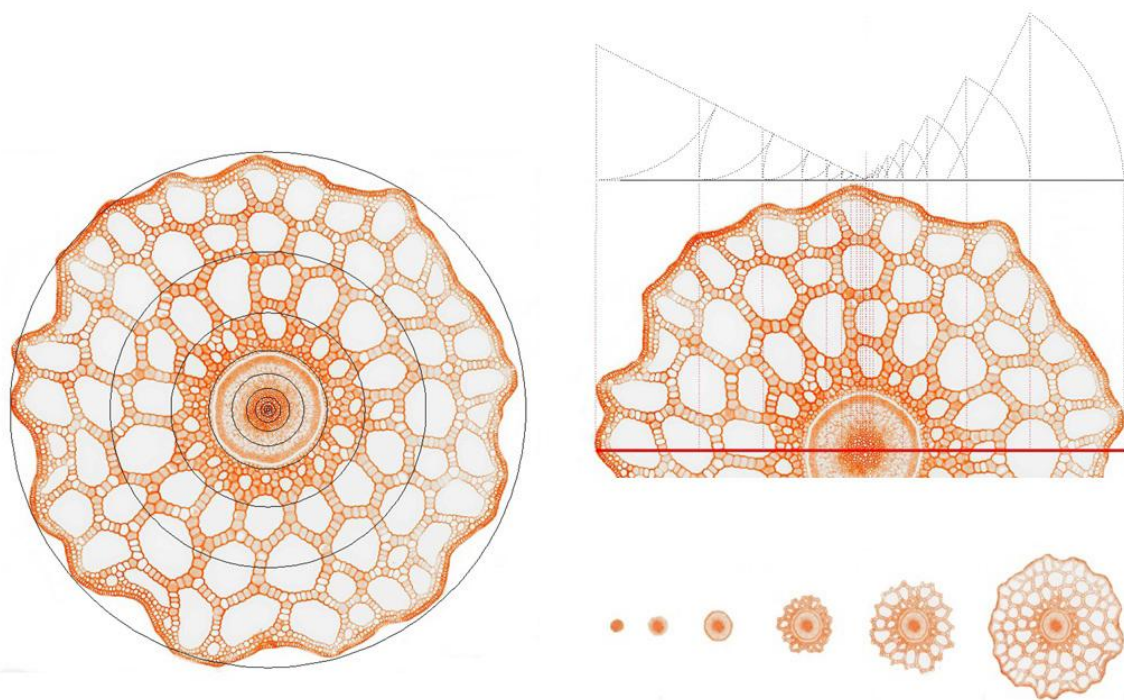


Fig. 331 - Exemplo de uma estrutura viva com organização expansiva em onda.

Os níveis de expansão, não são na sua grande maioria, as linhas delimitadoras de todos os elementos estruturais. O intervalo espacial, existente entre dois níveis de expansão, é preenchido por inúmeras formas estruturais que não têm contacto com as mesmas. Este facto pressupõe a existência de outras linhas secundárias, que organizam as formas estruturais existentes nesse intervalo. Portanto, as estruturas base geradas pelas regras globais, definem bases estruturais compostas, não só com níveis de expansão, mas também com subníveis de expansão.

Os níveis de expansão definem por si só, um efeito de gradiente do limite para o centro. A presença de subníveis de expansão permite manter os campos de força vectorial para o centro da composição, mas com um efeito gradiente inverso aos dos níveis de expansão. No entanto, os gradientes crescentes que requerem somente a presença de níveis de expansão são pouco frequentes. Portanto, a introdução de subníveis de expansão na gramática, terá somente em conta a criação de campos de força com gradientes decrescentes do centro para a periferia, ou a criação de gradientes por efeito de oscilação.

Resumindo, na primeira fase do processo de desenho, a gramática, divide as suas regras em duas tarefas distintas: definição de níveis de expansão e definição de subníveis de expansão (consultar anexo 2 – fase 1).

4.2.2 REGRAS DE CONTROLO FORMAL

Definida a base estrutural, o processo de geração de forma passa para uma segunda fase. Nesta fase são aplicadas as regras de controlo formal. É objectivo da mesma, a definição do perfil da forma que se idealiza gerar, isto porque, a organização estrutural em onda não implica a geração de formas cuja composição geométrica seja circular.

Estas regras introduzem na gramática os princípios de união definidos nas características geométricas da integração espacial (ver ponto 3.2.3.1 - união), mais concretamente, a diversidade de ligações mediante a utilização de formas concavas e convexas (fig. 332).



Fig. 332 - Perfis formais de estruturas vivas. Diversidade de ligações com recurso a superfícies concavas e/ou convexas, estruturadas mediante princípios de simetria (bilateral ou radial) não exacta.

A geração do perfil formal sobre a base estrutural, requiere um conjunto de nove etapas, sendo estas: definição dos ângulos de expansão estrutural, definição da grelha de pontos, zona de interdição formal, união de pontos, geração formal por simetria bilateral ou radial, definição das guias de controlo formal, correção das sobreposições geradas pelas guias de controlo formal, definição da solução concava ou convexa no último nível de expansão e simplificação da composição geométrica (consultar anexo 2 – fase 2).

4.2.3 REGRAS LOCAIS

Findo o contorno da forma idealizada sobre a base estrutural, o processo de geração entra na terceira fase. Nesta são aplicadas as regras locais. Estas regras correspondem à fase

de materialização da forma, ou seja, é gerada a estrutura física onde ficam retratadas todas as decisões de ordem geométrica estabelecidas nas fases anteriores. Para a geração das mesmas, é aplicado o conceito de divisão de espaço não regular do diagrama de Voronoi. No entanto, estes denotam uma particularidade. Os pontos referenciais necessários à sua geração são posicionados sobre os anéis dos níveis e subníveis de expansão definidos pelas regras globais (fig. 333). Para simplificar o processo de geração das mesmas, a gramática, apenas contempla a utilização de formas poligonais (fig. 334) (ver ponto 3.2.1.1 – vocabulário geométrico).



Fig. 333 – Pontos referenciais dos diagramas de Voronoi. Disposição aleatória de pontos no espaço, num diagrama de Voronoi convencional (esq.) e disposição controlada dos pontos no espaço, num diagrama de Voronoi a desenvolver pela gramática (dir.).

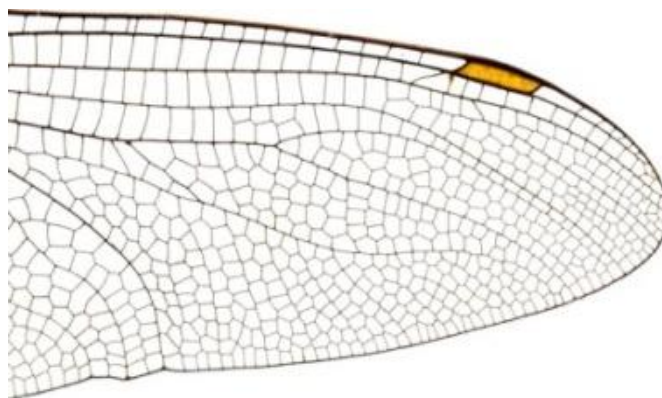


Fig. 334 – Exemplo de formas estruturais poligonais na composição geométrica de uma estrutura viva.

A gramática, nesta terceira fase, divide as regras em 6 tarefas distintas: definição da forma inicial, expansão a partir da forma inicial, definição do perímetro dos polígonos estruturais para o efeito de oscilação, remoção dos elementos geométricos auxiliares à definição das formas estruturais, seleção de formas estruturais a incluir na composição geométrica e simplificação da composição geométrica (consultar anexo 2 – fase 3).

4.2.4 REGRAS ESPACIAIS

As regras espaciais têm como objetivo, transportar a composição geométrica gerada até então pela ferramenta, para uma superfície curva. As superfícies geométricas necessárias para esta transposição, não podem ser aleatórias. Estas têm que conseguir refletir no espaço, as qualidades geométricas que caracterizam a base estrutural da composição. Portanto, a superfície curva e a base estrutural têm que partilhar as seguintes qualidades: forma de organização expansiva em onda, possuir um centro gerador, revelar capacidade expansiva e conter superfícies concavas ou convexas. Mediante estas características, a gramática desenvolveu-se em torno da superfície de dois sólidos, a esfera e o toro. Contudo, como o objetivo da transposição da composição para a superfície, é a de gerar estruturas que permitam a vivência humana, a superfície dos sólidos referenciais são introduzidos na gramática, seccionados pela metade (semi esfera e semi toro) (fig. 335). Este seccionamento, transforma a definição das superfícies num arco, cujo seu lado concavo, reflete para si o controle de um espaço que não lhe pertence, mas que é por si delimitado. Portanto, é neste espaço referencial, que as composições transferidas para as superfícies são modeladas.

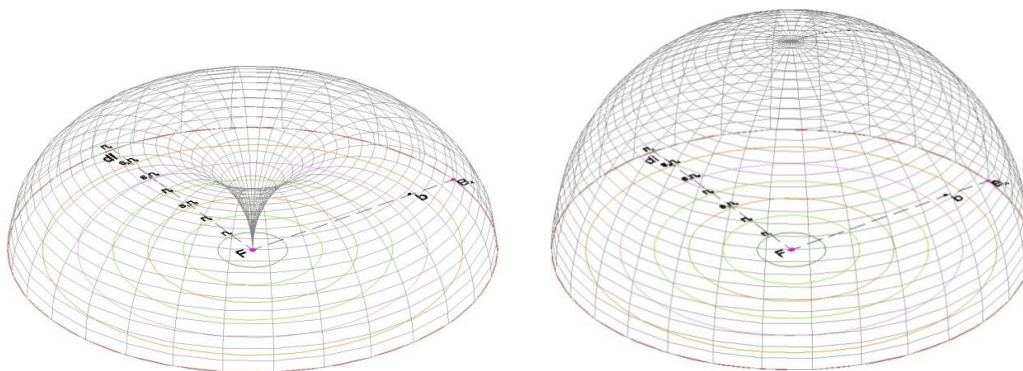


Fig. 335 - Superfícies geométricas (semi toro e semi esfera)

A gramática, nesta última fase do processo de desenho, divide as regras em 6 tarefas distintas: localização de pontos, remarcação do nível de expansão máximo, definição dos pontos e respetivos raios de localização, definição da superfície espacial, transferência dos pontos do plano bidimensional para a superfície espacial e definição da composição geométrica final (consultar anexo 2 – fase 4).

4.3 GERAÇÃO DE MODELOS

O processo de geração de forma vai ser descrito mediante a geração de dois modelos exemplificativos. Um referenciado na superfície de um toro e outro, numa superfície esférica. Outros exemplos foram elaborados para cada uma das superfícies, estando os mesmos referenciados, para consulta, no anexo 3.

4.3.1 GERAÇÃO DE MODELOS SOBRE A SUPERFÍCIE DE UM TORO

A geração do modelo exemplificativo é dividido pelas quatro fases constituintes do processo de geração. A cada uma dessas fases, corresponde um determinado número de passos obrigatórios, descritos e exemplificados graficamente. As três primeiras fases do processo de geração são totalmente independentes da superfície geométrica escolhida. Só na quarta e última fase de geração, a escolha da superfície afetará distintamente o processo generativo, face a outros modelos gerados pela ferramenta de desenho. Em cada uma das etapas, são denominadas as regras utilizadas. Contudo, não será feita uma descrição exaustiva e exemplificativa das mesmas. Todo este processo descritivo e exemplificativo, é remetido para a gramática (anexo 2 – Fase 1, 2, 3 e 4).

Regras globais

_ Definição dos níveis de expansão

A geração do modelo exemplificativo, requer antes que tudo, uma base estrutural que a sustente. Contemplando a gramática apenas a expansão em onda, a definição desta base estrutural vai requisitar a definição de um ponto gerador e a definição de níveis de expansão, todos eles referenciados nesse mesmo ponto (F). Para o modelo exemplificativo, é definida uma base estrutural composta por cinco níveis de expansão (fig. 336). A definição dos mesmos é obtida mediante a aplicação das regras RG1, RG2, RG3 e RG4 (consultar anexo 2 – fase 1 – ponto 1.1.).

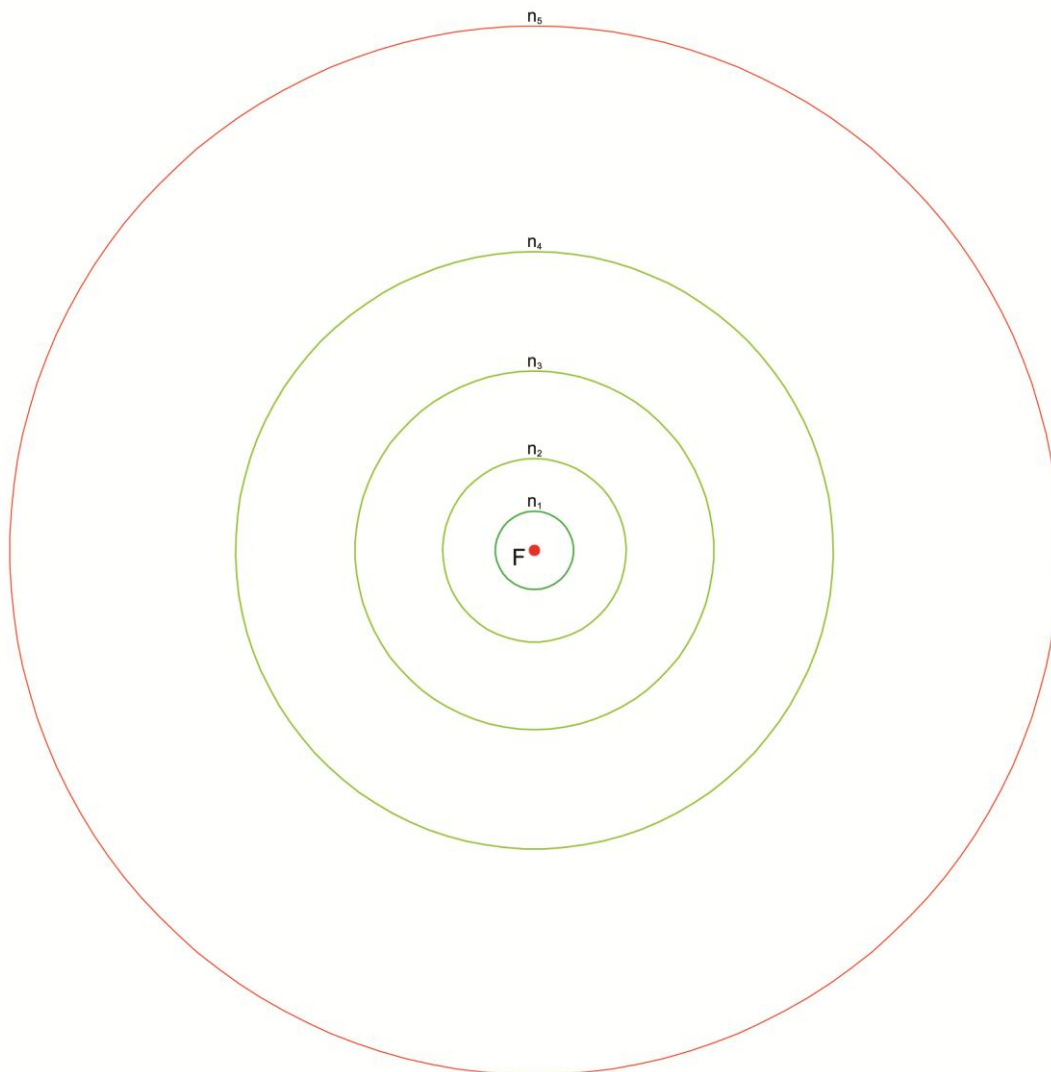


Fig. 336 – Geração dos níveis de expansão mediante a aplicação das regras RG1, RG2, RG3 e RG4. Nível de expansão n_1 gerado com a regra RG1, n_2 com a regra RG2, n_3 e n_4 com a regra RG3 e por fim, n_5 com a regra RG4.

Definição de sub níveis de expansão

Finda a definição dos cinco níveis de expansão, procede-se à definição dos subníveis. A geração destes elementos tem como intuito a geração de um efeito gradiente. Este pode revelar-se de duas distintas maneiras. Por efeito decrescente, onde o intervalo existente entre níveis e subníveis de expansão vai decrescendo gradualmente do centro para o limite. Ou por efeito de oscilação, onde num mesmo intervalo de expansão, existe um efeito crescente e decrescente gerado pelo afastamento gradual entre níveis e/ou subníveis de expansão. O modelo exemplificativo recorre aos dois tipos de efeito gradiente. A sua aplicação será realizada do seguinte modo: no intervalo de expansão $[n_1, n_2]$ é aplicado efeito decrescente mediante a

geração de um subnível de expansão. Nos intervalos de expansão $[n_2, n_3]$, $[n_3, n_4]$ e $[n_4, n_5]$ é aplicado efeito de oscilação mediante a aplicação de três, quatro e dez subníveis de expansão, respectivamente (fig. 337). A geração dos subníveis de expansão resulta da aplicação das regras RG6, RG13, RG14, RG16, RG17 e REG18 (consultar anexo 2 – fase 1 – ponto 1.2.)

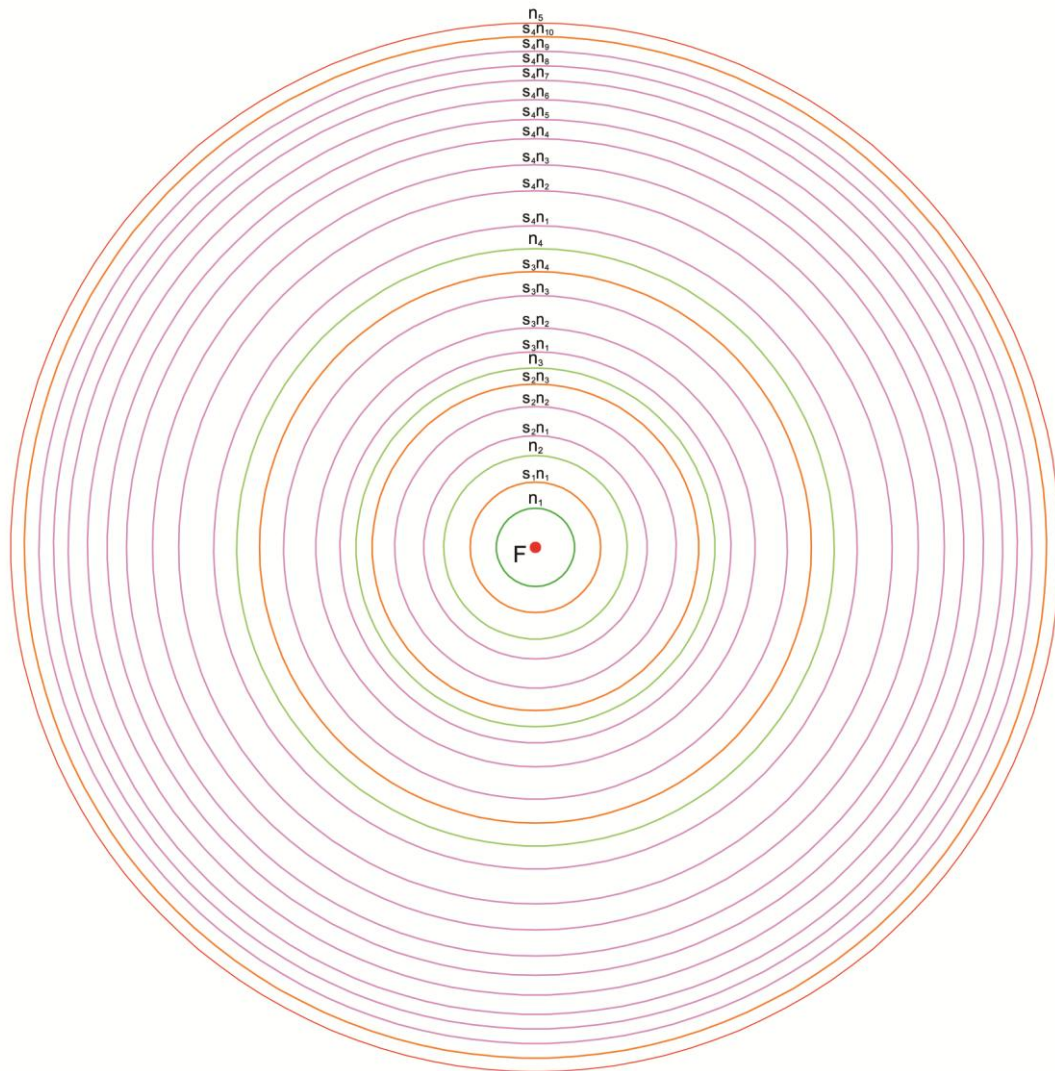


Fig. 337 – Geração dos subníveis de expansão.

No intervalo de expansão $[n_1, n_2]$, foi definido um subnível de expansão (s_1n_1), aplicando a regras RG6. No intervalo de expansão $[n_2, n_3]$, foram gerados três subníveis de expansão (s_1n_2, s_2n_2, s_3n_2), aplicando regras RG13, RG14 e RG18. No intervalo de expansão $[n_3, n_4]$, foram gerados quatro subníveis de expansão ($s_1n_3, s_2n_3, s_3n_3, s_4n_3$), aplicando as regras RG13, RG14, RG17 e RG18. No intervalo de expansão $[n_4, n_5]$, foram gerados dez subníveis de expansão ($s_1n_4, s_2n_4, s_3n_4, s_4n_4, s_5n_4, s_6n_4, s_7n_4, s_8n_4, s_9n_4, s_{10}n_4$), aplicando as regras RG13, RG14, RG17 e RG18.

Regras de controlo formal

_ Definição dos ângulos de expansão estrutural

Uma das marcas da identidade das estruturas vivas, é o seu recurso à simetria. O ângulo de expansão vai seleccionar uma parte da base estrutural que irá posteriormente ser sujeita a uma acção de simetria, assim que a forma pretendida esteja delineada. O ângulo de expansão estrutural é definido mediante a aplicação da regra RCF1 (consultar anexo 2 – fase 2 – ponto 2.1). Neste caso particular, o ângulo de expansão (α) é igual a 90° e é delimitado pelas semi retas b e dl, ambas referenciadas no ponto F (fig. 338).

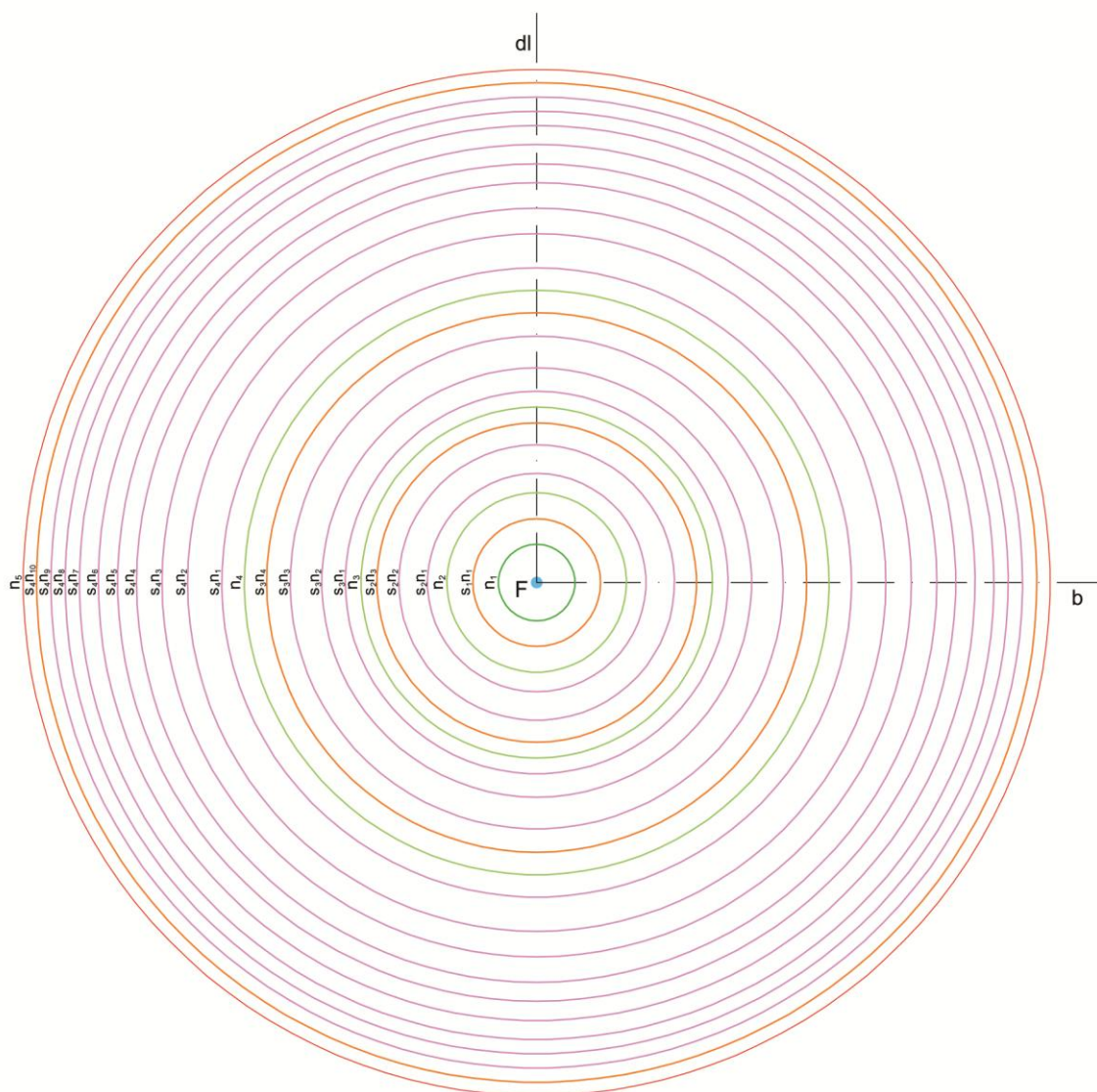


Fig. 338 – Geração do ângulo de expansão estrutural mediante a aplicação da regra RCF1.
Ângulo de expansão de 90° .

_ Definição da grelha de pontos

Dentro do espaço delimitado pelo ângulo de expansão, é gerada uma malha de pontos. O objetivo da mesma é permitir a geração de composições geométricas vinculadas à expansão em onda, sem que estas fiquem restritas ao formato circular. Os pontos introduzidos são referenciados nas semi retas delimitadoras do ângulo de expansão (dl e b) e nos níveis de expansão da base estrutural (fig. 339). A definição dos pontos do exemplo em causa é realizada a partir das seguintes regras: RCF2, RCF3, RCF4, RCF5, RCF6, RCF8, RCF9, RCF10, RCF11, RCF14 e RCF15 (consultar anexo 2 – fase 2 – ponto 2.2).

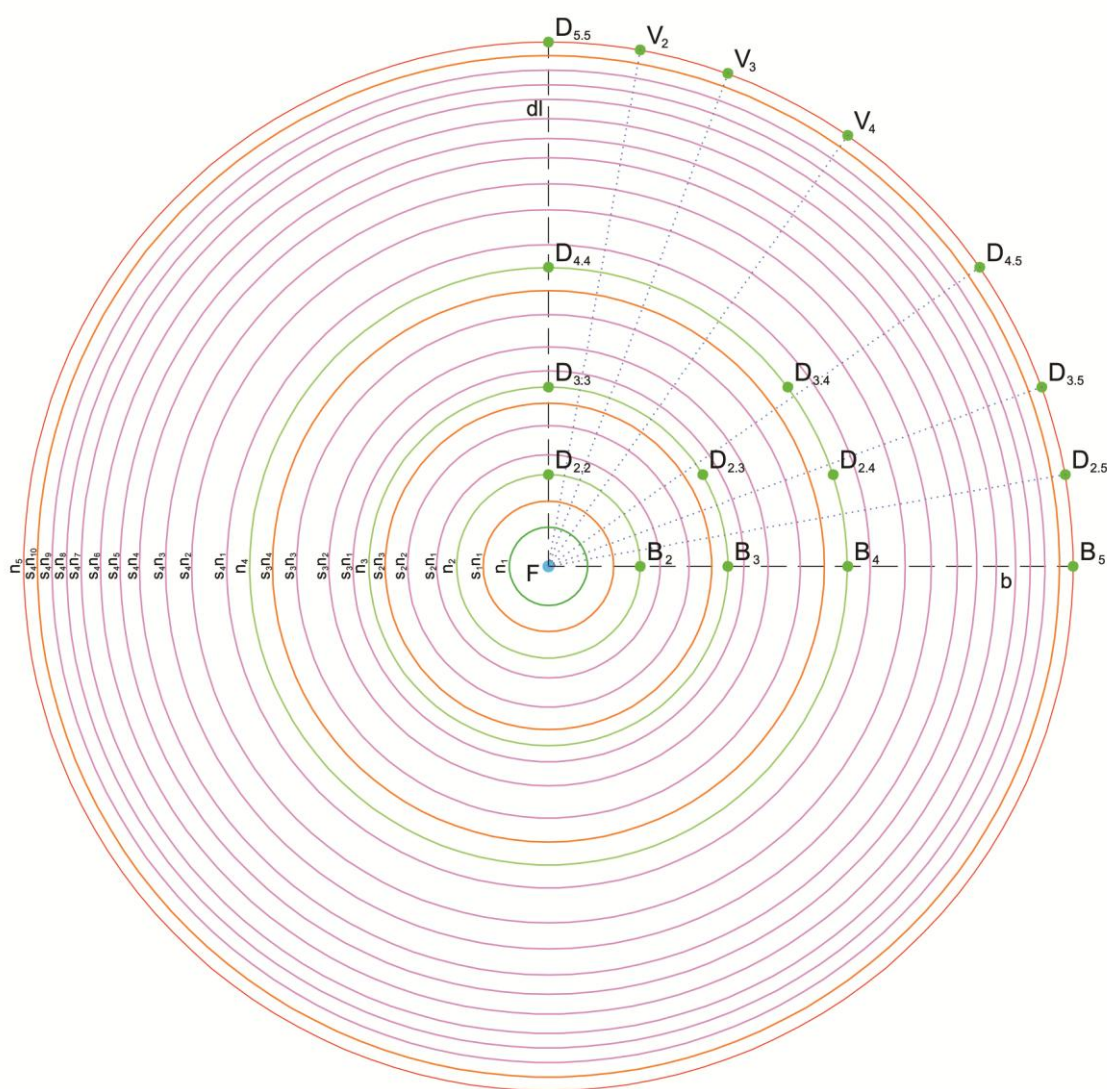


Fig. 339 – Definição da malha de pontos dentro do intervalo de expansão definido (90°). Os pontos com denominação “D” são gerados com a aplicação das regras RCF2, RCF3, RCF4, RCF5 e RCF6. Os de denominação “B” com as regras RCF8, RCF9, RCF10 e RCF15 e os de denominação “V”, com a regra RCF11. As linhas de foco que unem os pontos localizados no último nível de expansão com o ponto F, são gerados mediante a aplicação da regra RCF14.

_ Zona de interdição formal

As formas a gerar na base estrutural, não devem ultrapassar uma relação proporcional horizontal / vertical de 1/4. Para evitar esta situação, é assinalado no ângulo de expansão, uma zona de restrição formal. Ou seja, as formas para responderem positivamente à restrição imposta, não devem ser geradas apenas com pontos situados nessa zona. Devem obrigatoriamente, abranger pontos externos à mesma. Neste caso em particular, a zona de interdição gerada, com a aplicação da regra RCF16 (consultar anexo 2 – fase 2 – ponto 2.3), não interfere com nenhum ponto situado dentro do ângulo de expansão (os pontos de designação B, não são contemplados nessa interdição). Portanto, não será imposto nenhum tipo de restrição proporcional na definição da forma (fig. 340).

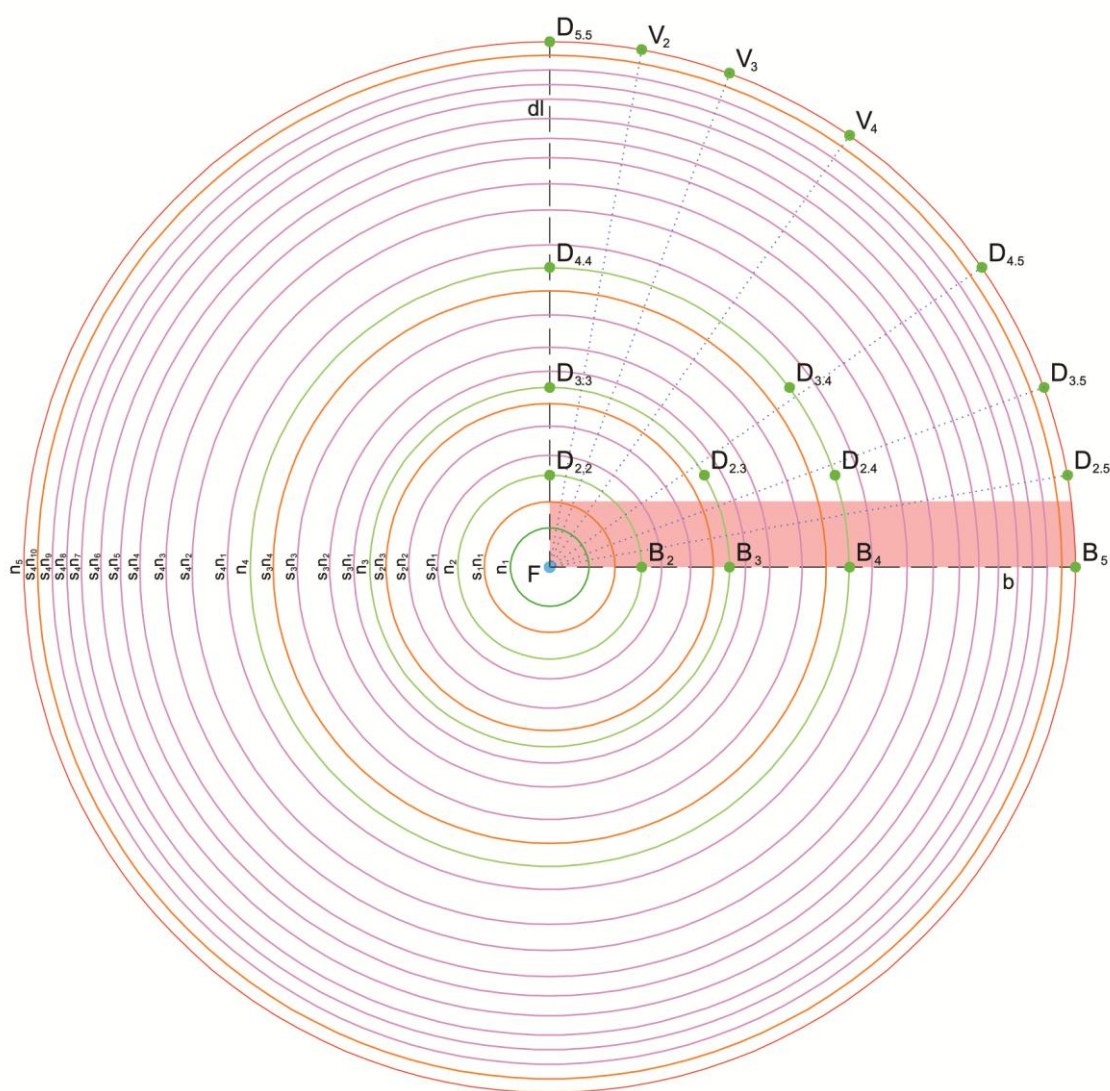


Fig. 340 – Geração da zona de interdição.

A zona de interdição não se sobrepõe com nenhum ponto da malha. Neste caso, a geração da forma, não tem restrições que influenciem a relação proporcional das suas dimensões.

_ União de pontos

Definidos os pontos, estes são usados para gerar um perfil auxiliar. Este funciona como uma predefinição da forma a gerar. No exemplo em desenvolvimento, este perfil é definido por três segmentos de reta (fig. 341). Para a sua determinação são usadas as regras RCF19, RCF20, RCF24 e RCF30 (consultar anexo 2 – fase 2 – ponto 2.4).

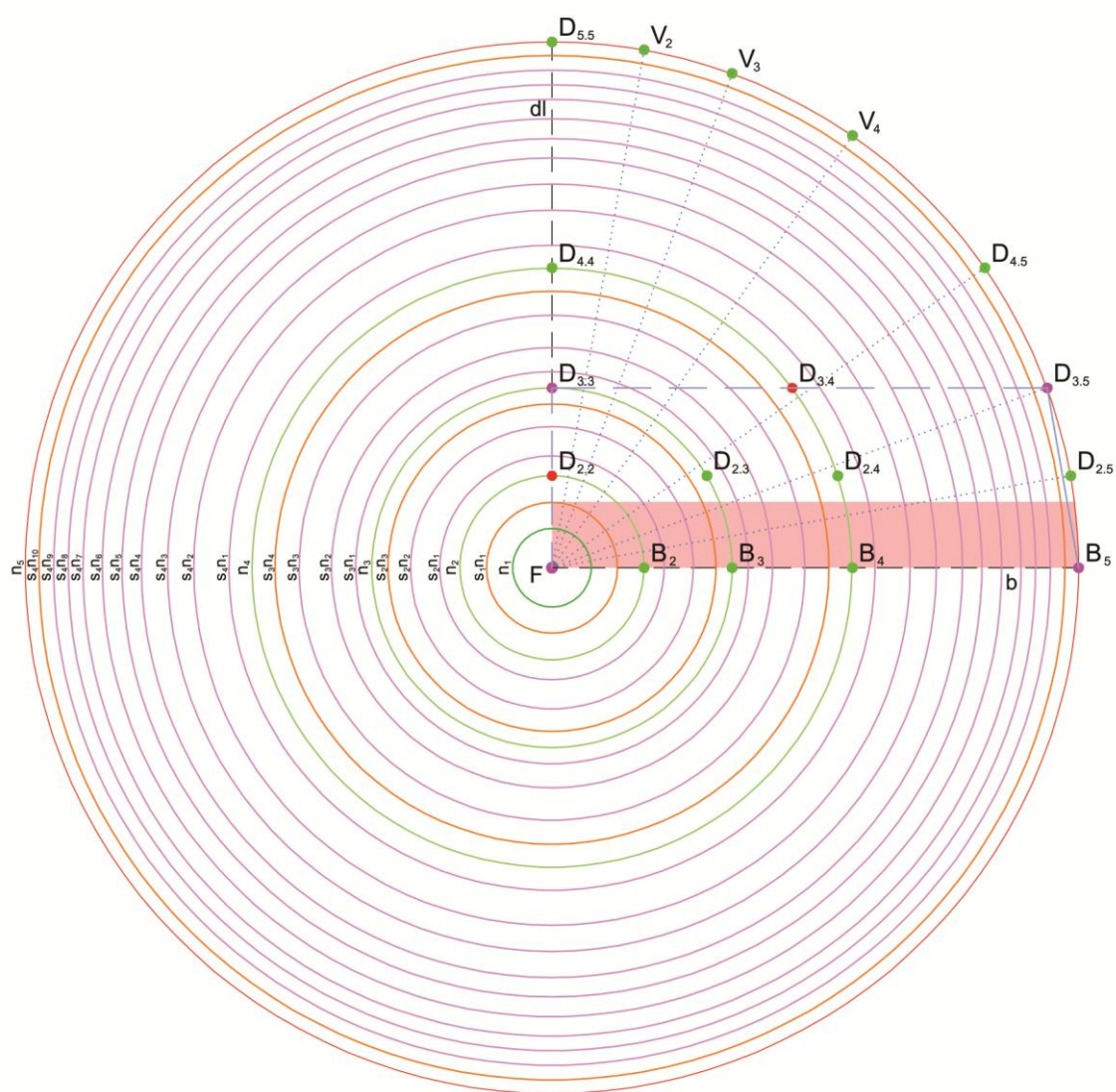


Fig. 341 – Geração do perfil auxiliar, contendo três segmentos de reta delimitados pelos seguintes pontos: primeiro segmento de reta delimitado pelos pontos F e D_{3.3} (aplicação das regras RCF19 e RCF20), segundo segmento de reta delimitado pelos pontos D_{3.3} e D_{3.5} (aplicação das regras RCF20 e RCF24) e terceiro segmento de reta delimitado pelos pontos D_{3.5} e B₅ (aplicação da regra RCF30).

_ Geração formal por simetria bilateral ou radial

Uma das características marcantes nas estruturas vivas é a sua predominância generativa pela simetria. Para o ângulo de expansão de 90° , a gramática permite reflexão bilateral e radial. Neste caso específico, optou-se pela reflexão bilateral. A reflexão a operar incide sobre os segmentos de reta do perfil auxiliar e respectivos pontos delimitadores, como também, sobre as linhas de foco (fig. 342). No exemplo em geração, a reflexão dos elementos geométricos referidos, é realizada mediante a aplicação das seguintes regras: RCF35, RCF36, RCF38 e RCF40 (consultar anexo 2 – fase 2 – ponto 2.5).

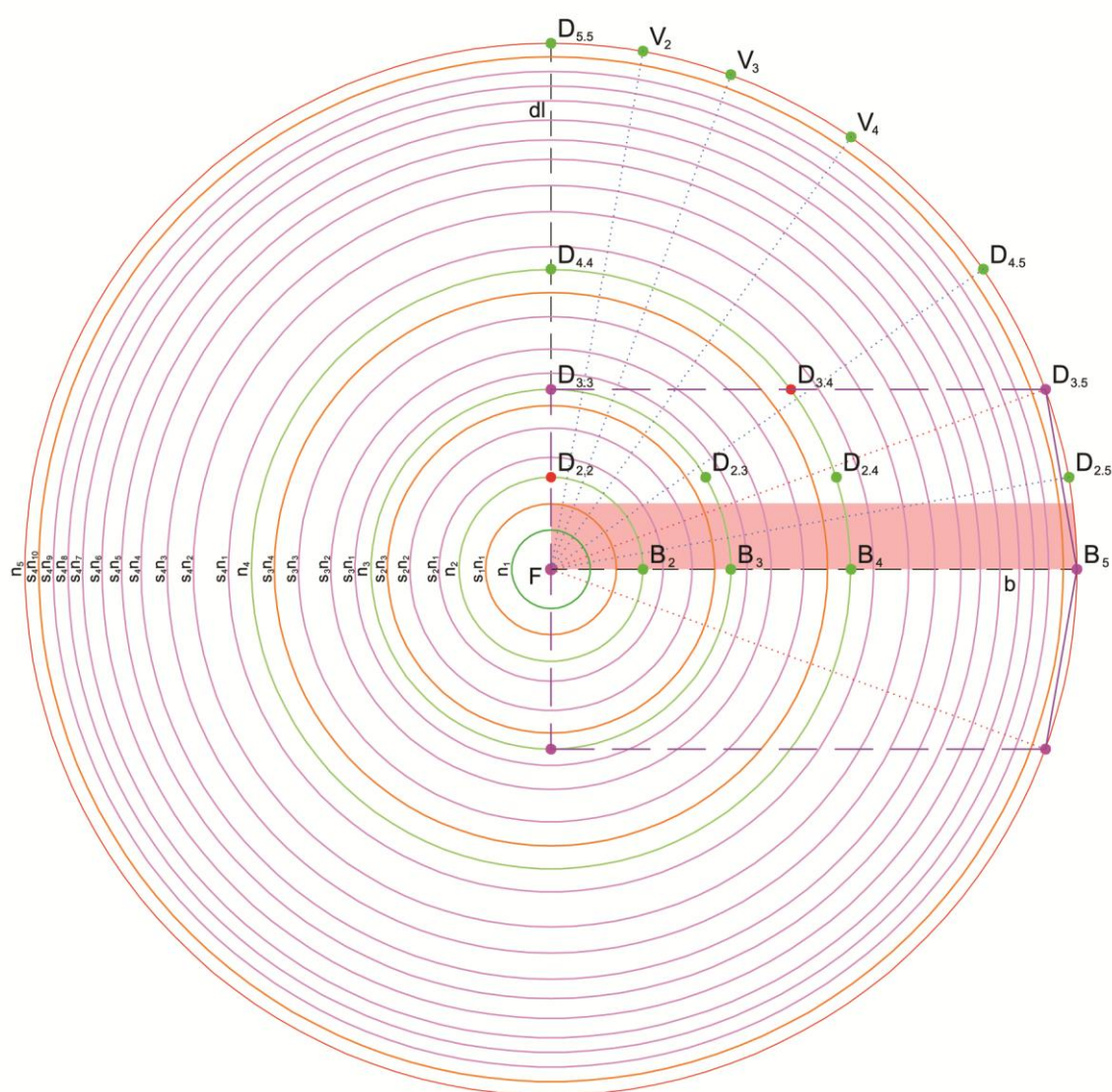


Fig. 342 – Reflexão por simetria bilateral.

Reflexão dos segmentos de reta do perfil auxiliar definidos pelo pontos F e $D_{3.3}$ (regra RCF36), $D_{3.3}$ e $D_{3.5}$ (regra RCF35) e $D_{3.5}$ e B_5 (regra RCF38). Reflexão da linha de foco definida pelos pontos F e $D_{3.5}$ (regra RCF40).

_ Definição das guias de contorno formal

Sobre os segmentos de reta de perfil auxiliar, são introduzidas propriedades geométricas de concavidade e convexidade. Estas são referenciadas como guias de controlo formal. Estes arcos, definirão um perfil geométrico referencial, por onde se guiarão posteriormente as regras locais. Portanto, a cada segmento de reta do perfil auxiliar, é referenciado um arco. No modelo em geração, são aplicados arcos regulares, com exceção aos referenciados nos segmentos de reta delimitados por pontos definidos sobre o último nível de expansão (n_5). Nestes segmentos, são referenciados arcos compostos (fig. 343). Para a geração destes arcos, são aplicadas as regras RCF54 e RCF57 (consultar anexo 2 – fase 2 – ponto 2.6).

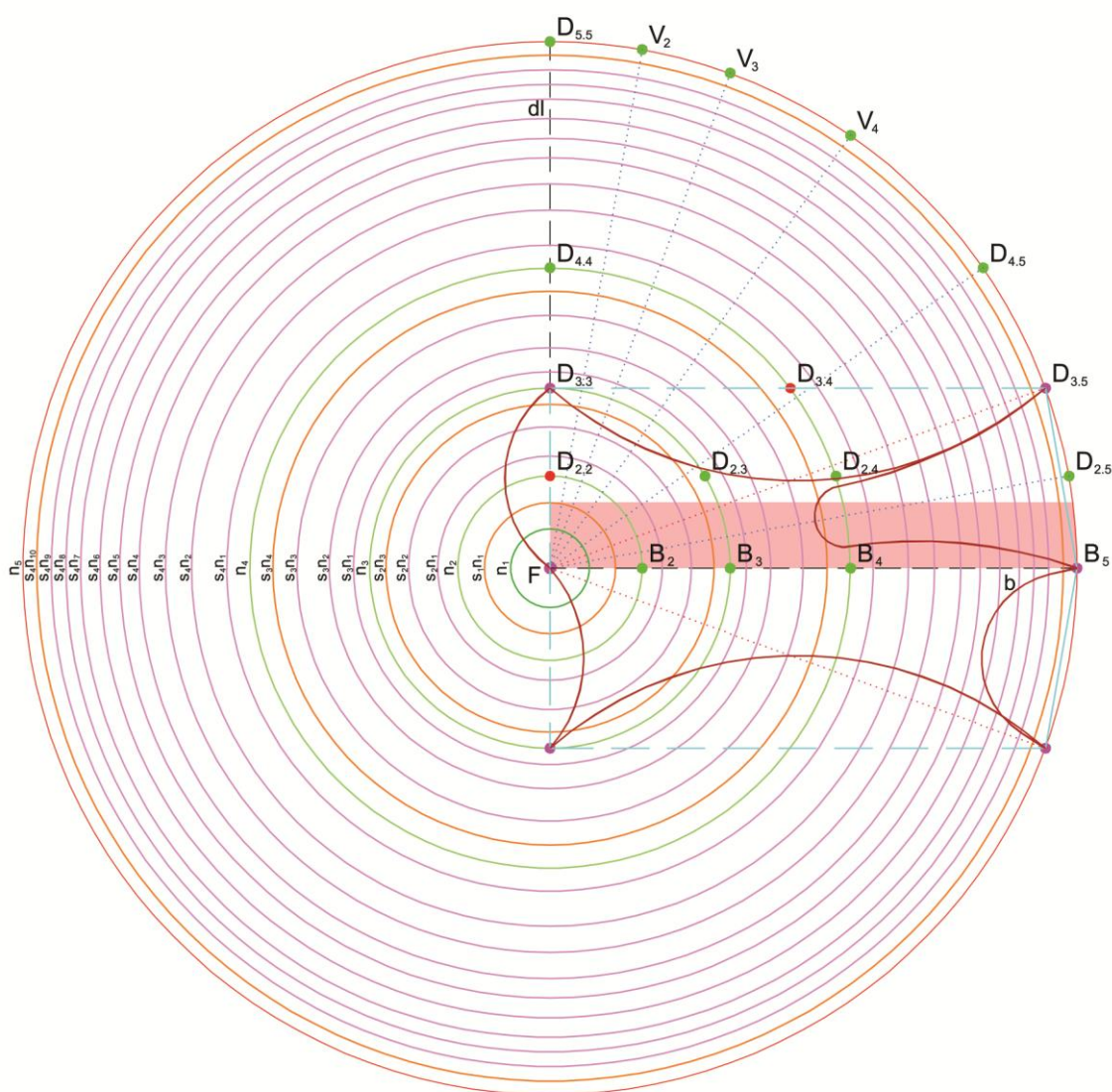


Fig. 343 – Geração das guias de controlo formal.

A todos os segmentos de reta de linha tracejada do perfil auxiliar, foram associados arcos regulares com diversos raios de curvatura (regra RCF54). Aos segmentos de reta de linha contínua do perfil auxiliar, foram associados arcos compostos, onde também foram aplicados distintos raios de curvatura (regra RCF57).

Correção da sobreposição entre guias de controle formal

A referência de arcos a cada um dos segmentos de reta do perfil auxiliar, pode gerar situações de sobreposição dos mesmos. Portanto, sempre que ocorre a sobreposição destes elementos, esta deva ser desfeita. A aplicação de arcos no modelo em desenvolvimento originou duas sobreposições, ambas contemplando a sobreposição de um arco regular com um arco composto. Para desfazer este tipo de sobreposição é aplicada a regra RCF 77 (fig. 344) (consultar anexo 2, fase 2, ponto 2.7).

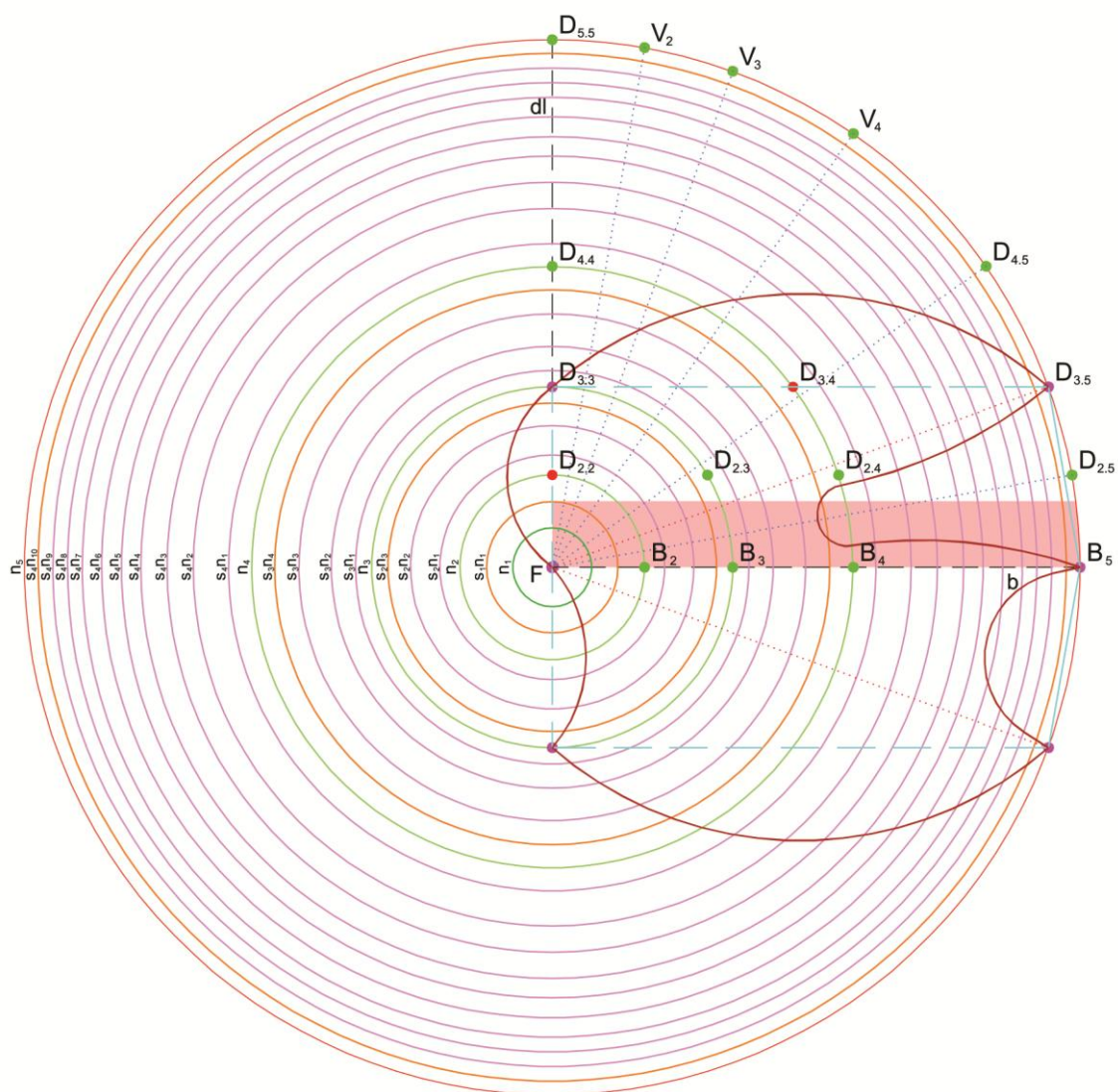


Fig. 344 – Correção dos casos de sobreposição de arcos. (comparar com a fig. 343).

A solução passou pela reflexão do arco referenciado no segmento de reta delimitado pelos pontos $D_{3.3}$ e $D_{3.5}$, bem como a reflexão do arco correspondente ao segmento de reta gerado por reflexão bilateral dos pontos $D_{3.3}$ e $D_{3.5}$ (RCF77).

Concavidade e convexidade no último nível de expansão

A sobreposição de arcos, não é a única consequência geométrica a retificar da implementação de arcos a segmentos de reta do perfil auxiliar. Os arcos associados aos segmentos de reta, definidos por pontos localizados no último nível de expansão, devem ficar dispostos na composição mediante uma orientação particular. Todos estes devem convergir para o centro da composição, ou para fora deste. No exemplo em desenvolvimento, este tipo de restrição geométrica não se manifestou. Ambos os arcos que contemplam esta restrição geométrica estão direcionados para o centro da composição (fig. 345) (consultar anexo 2, fase 2, ponto 2.8).

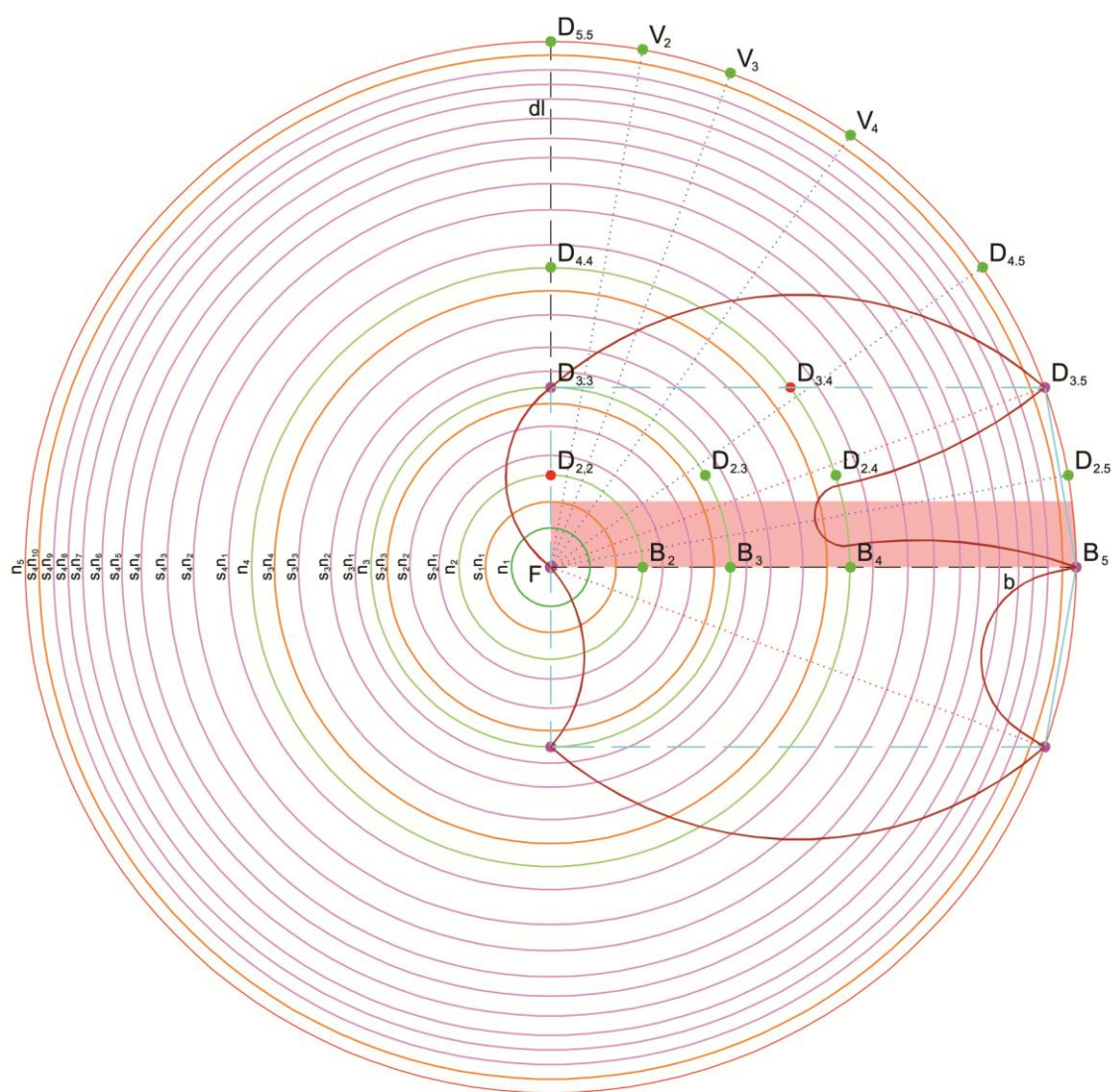


Fig. 345 – Perfil formal sem restrições de direcionalidade no último nível de expansão.

_ Simplificação

Definida a forma guia que irá servir de referencial na aplicação das formas estruturais, podem ser retirados da base estrutural, os elementos geométricos que foram usados para a sua definição. Este processo de simplificação da base estrutural contempla a exclusão dos segmentos de reta do perfil auxiliar, os pontos localizados sobre os níveis de expansão, a zona de interdição formal, linhas de foco e o segmento de reta dl pertencente ao ângulo de expansão (fig. 346). Esta operação é realizada mediante a aplicação das regras RCF93, RCF94, RCF95, RCF96, RCF97, RCF98 e RCF99 (consultar anexo 2, fase 2, ponto 2.9).

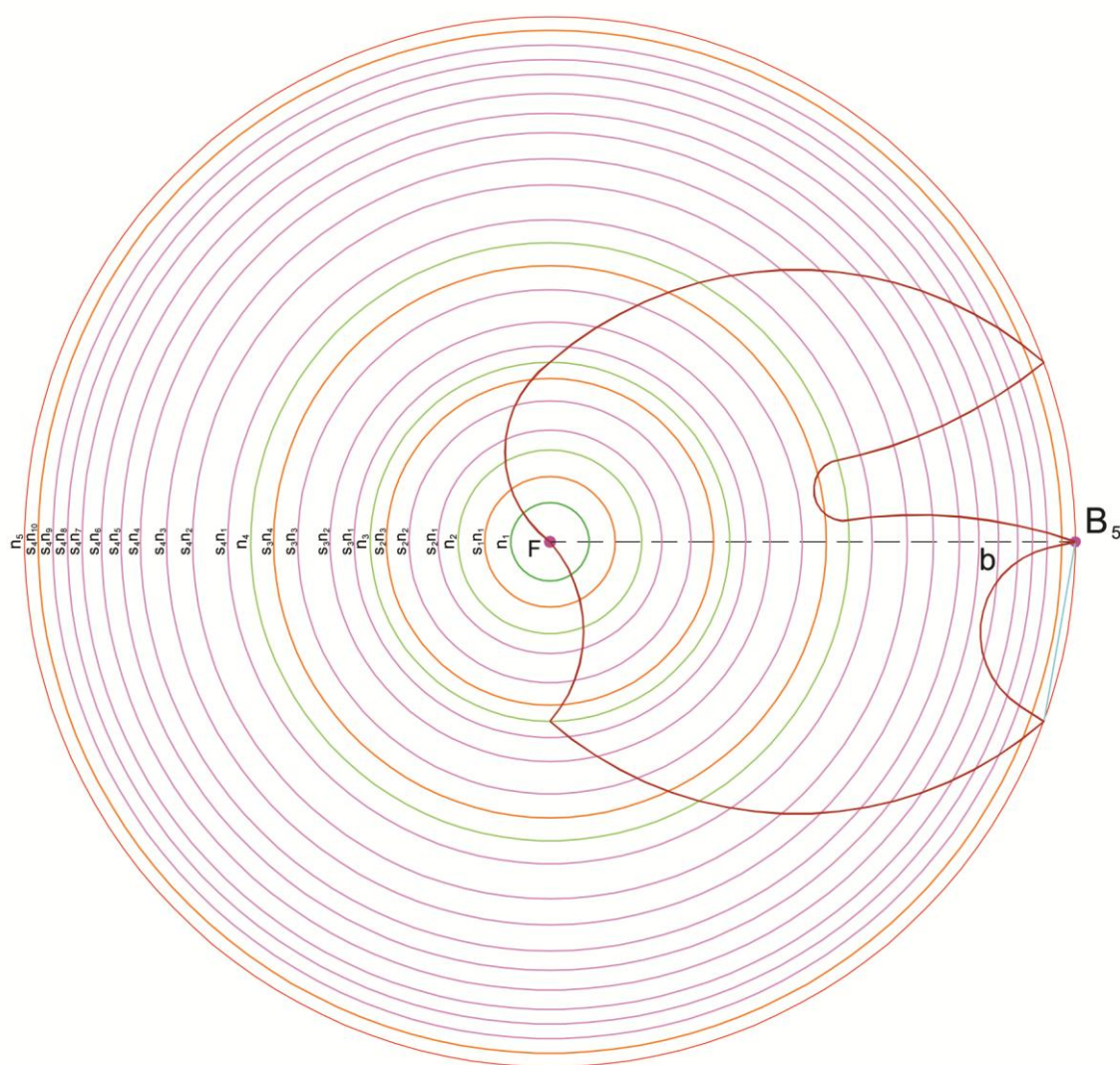


Fig. 346 – Configuração geométrica da base estrutural, após a exclusão dos elementos geométricos auxiliares à geração da guia de controlo formal – segmentos de reta do perfil auxiliar (RCF93 e RCF94), linhas de foco (RCF95), segmento de reta dl (RCF96), pontos (RCF97 e RCF98) e zona de interdição formal (RCF99).

Regras locais

_ Definição da forma inicial + Expansão a partir da forma inicial

A geração dos elementos estruturais que dão “corpo” à composição estrutural, são gerados de um modo sequencial, tendo como origem o primeiro nível de expansão (n_1) e como termino referencial as guias de controlo formal e o último nível de expansão (n_5). A geração dos elementos estruturais, deve ser orientada segundo as guias de controlo formal e estes devem ser gerados para lá dos limites das mesmas (fig. 347). O “corpus” estrutural da composição, será o resultado da aplicação das regras: RL1 a RL13 (consultar anexo 2, fase 3, ponto 3.1 e 3.2).

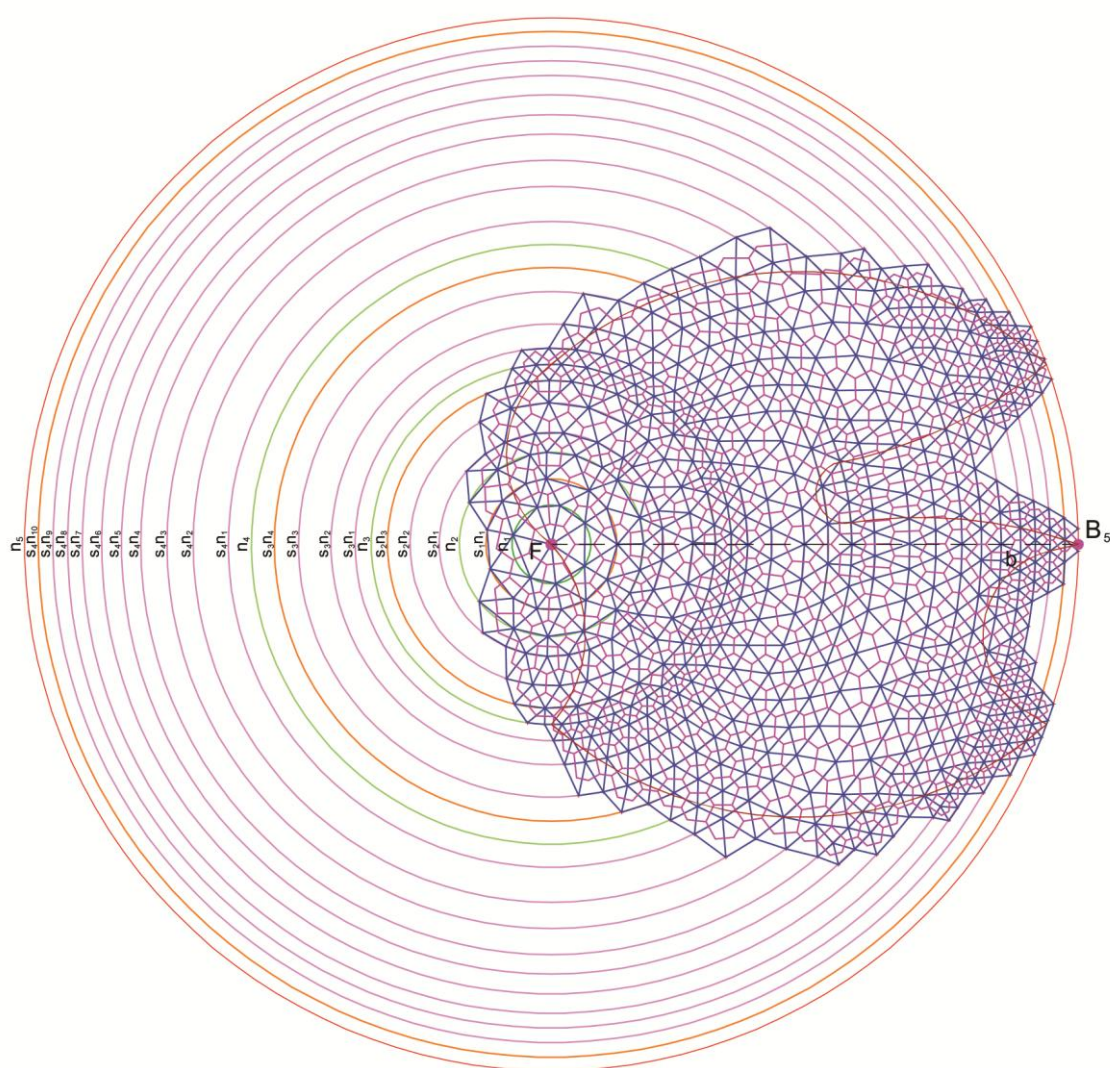


Fig. 347 – Geração dos elementos estruturais (diagramas de Voronoi).

_ Retirar os elementos geométricos auxiliares à definição das formas estruturais

A geração de elementos estruturais, segundo os princípios de geração dos diagramas de Voronoi, requer a existência de uma malha auxiliar triangular. Finda a geração desses elementos, esta pode ser retirada da composição. Para tal, procede-se à exclusão dos elementos geométricos que a contemplam, nomeadamente, os segmentos de reta que definem cada um dos lados dos triângulos, como também os pontos **X** que os delimitam. Neste processo de simplificação da base estrutural, são ainda retirados todos os níveis e subníveis de expansão onde se referenciaram os pontos **X**, com exceção feita, ao último nível de expansão (n_5) (fig. 348). Este processo de simplificação requer, no exemplo em causa, a aplicação das regras RL17, RL18, RL19, RL20 e RL21 (consultar anexo 2, fase 3, ponto 3.4).

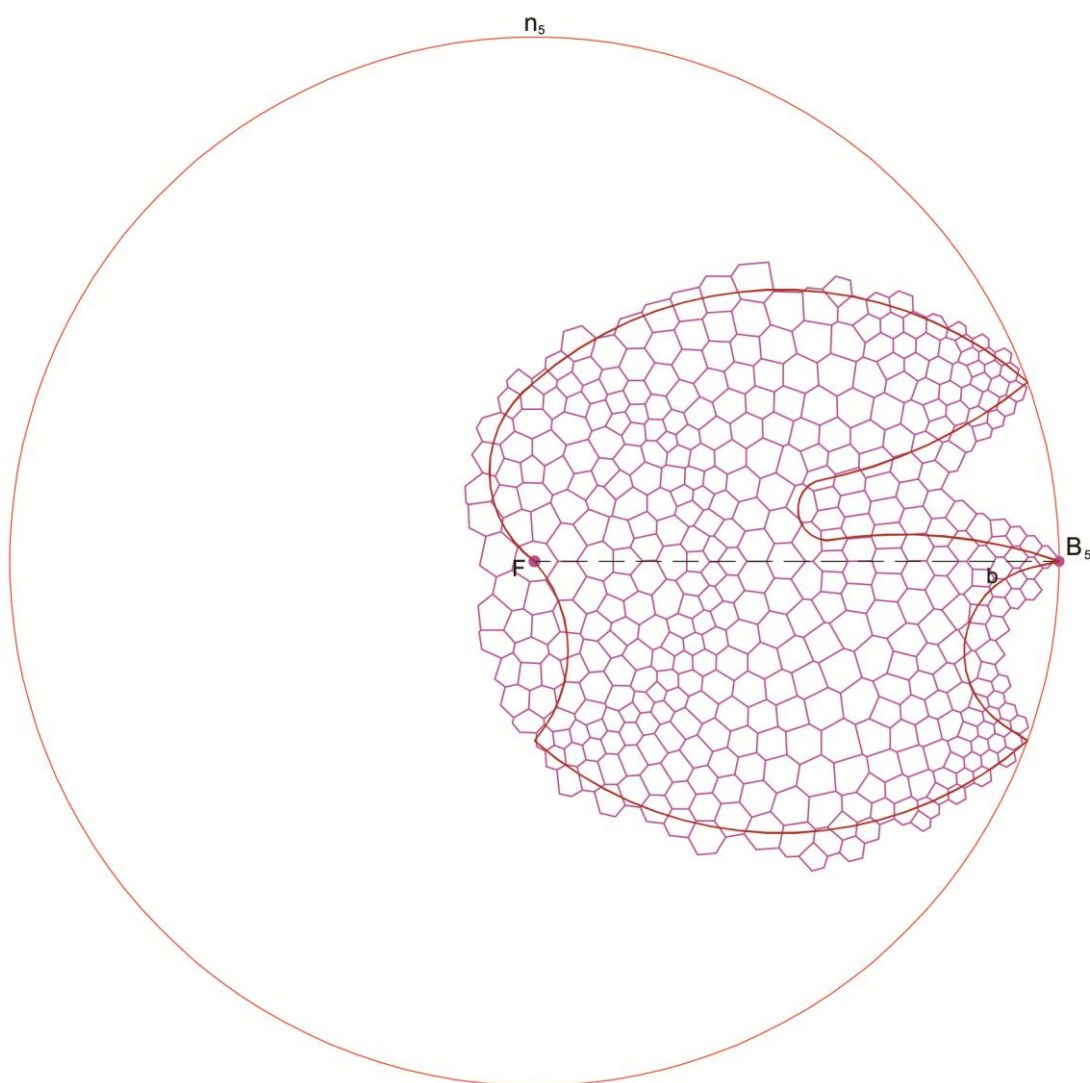


Fig. 348 – A malha estrutural e a respetiva guia de controlo formal referencial, após a exclusão dos elementos geométricos necessários à geração das formas estruturais. Exclusão da malha triangular auxiliar à geração dos polígonos estruturais (RL17, RL18, RL19 e RL20) e exclusão dos níveis e subníveis de expansão (RL21).

_ Seleção das formas estruturais a incluir na composição geométrica

Para que o espaço confinado pelas guias de controlo formal fique totalmente preenchido, os elementos estruturais foram gerados para lá dos seus limites. Como consequência desta opção de geração, muitas das formas estruturais são intersetadas pelas guias de controlo formal. As regras RL22, RL23, RL25, RL27, RL28, RL30 e RL31, efetuam a seleção das formas estruturais intersetadas a manter e a retirar da composição. Já as formas estruturais situadas fora do espaço delimitado pelas guias de controlo formal serão diretamente retiradas, sem passar pelo processo de seleção (fig. 349) (consultar anexo 2, fase 3, ponto 3.5).

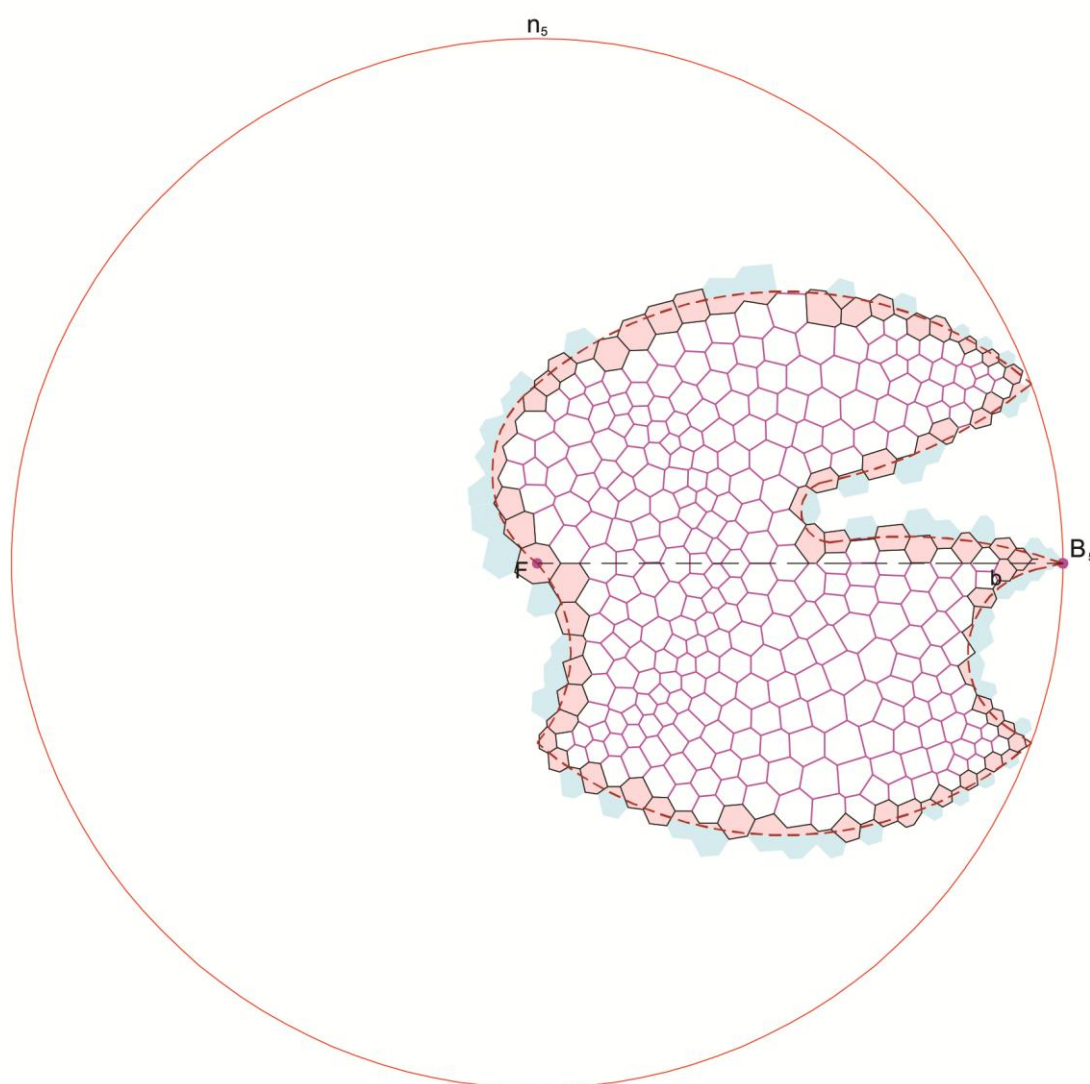


Fig. 349 – Definição do limite da composição geométrica, tendo como referência, a percentagem de área das formas estruturais situada dentro do espaço delimitado pelas guias de controlo formal, quando intersetada por esta.

_ Simplificação da composição geométrica

Identificadas as formas a incutir na composição, procede-se à exclusão das formas estruturais excedentes. A sua remoção é realizada mediante a regra RL33. Quanto às formas estruturais sobrepostas às guias de controlo formal, estas são reintroduzidas na composição geométrica, através da aplicação da regra RL34. Finda a geração da composição geométrica, as guias de controlo formal podem ser retiradas. A sua exclusão é feita através da regra RL32 (fig. 350). (consultar anexo 2, fase 3, ponto 3.6).

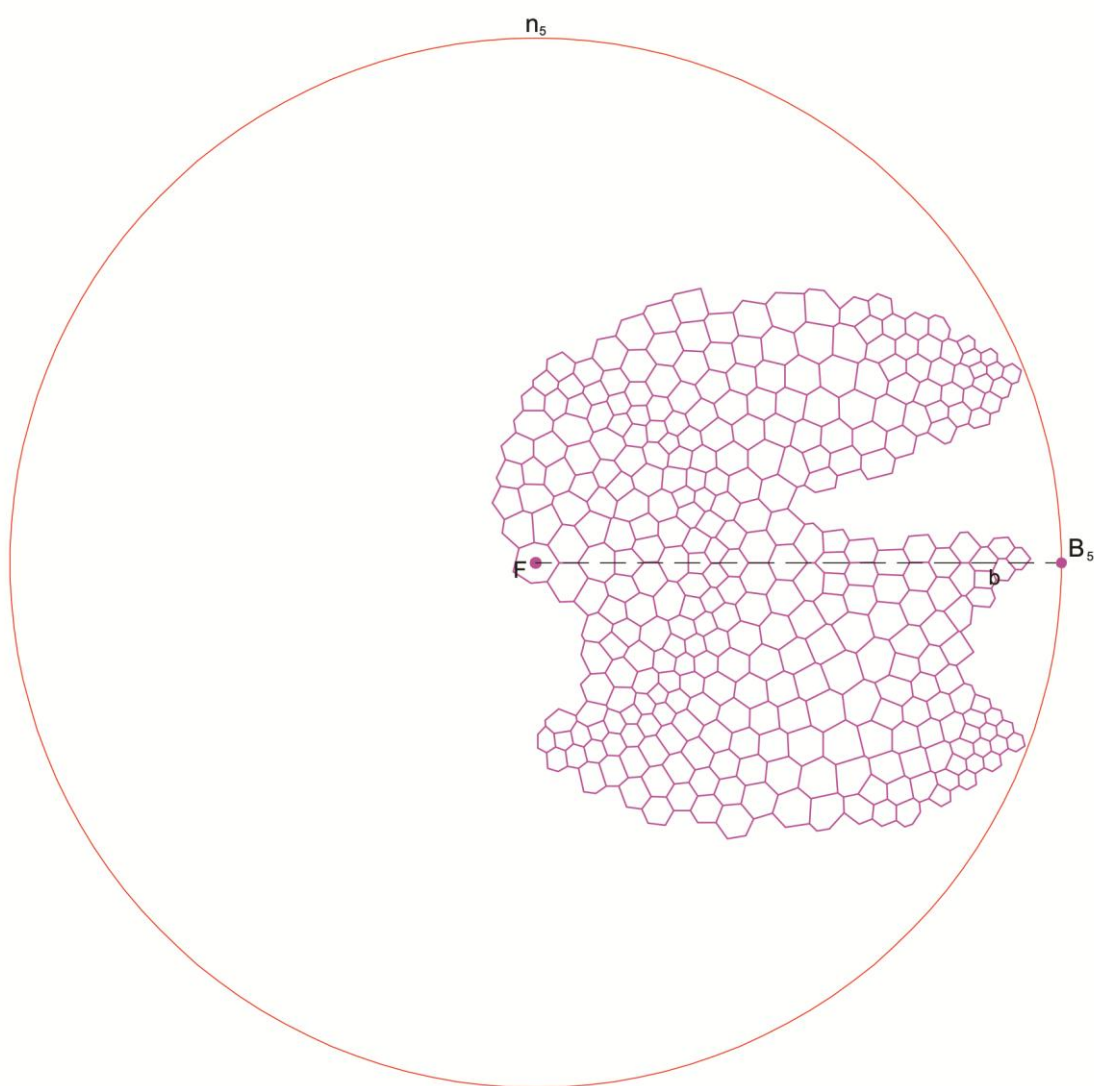


Fig. 350 – Composição geométrica final (plano bidimensional).

Regras espaciais

_ *Localização dos pontos*

A transferência da composição bidimensional, para uma superfície no espaço, requer pontos. Os pontos referenciais para a transposição dos segmentos de reta dos polígonos estruturais, são os pontos localizados nos vértices do perímetro desses mesmos polígonos (fig. 351). A identificação dos mesmos, é realizada através das regras RE1, RE2 e RE3 (consultar anexo 2, fase 4, ponto 4.1).

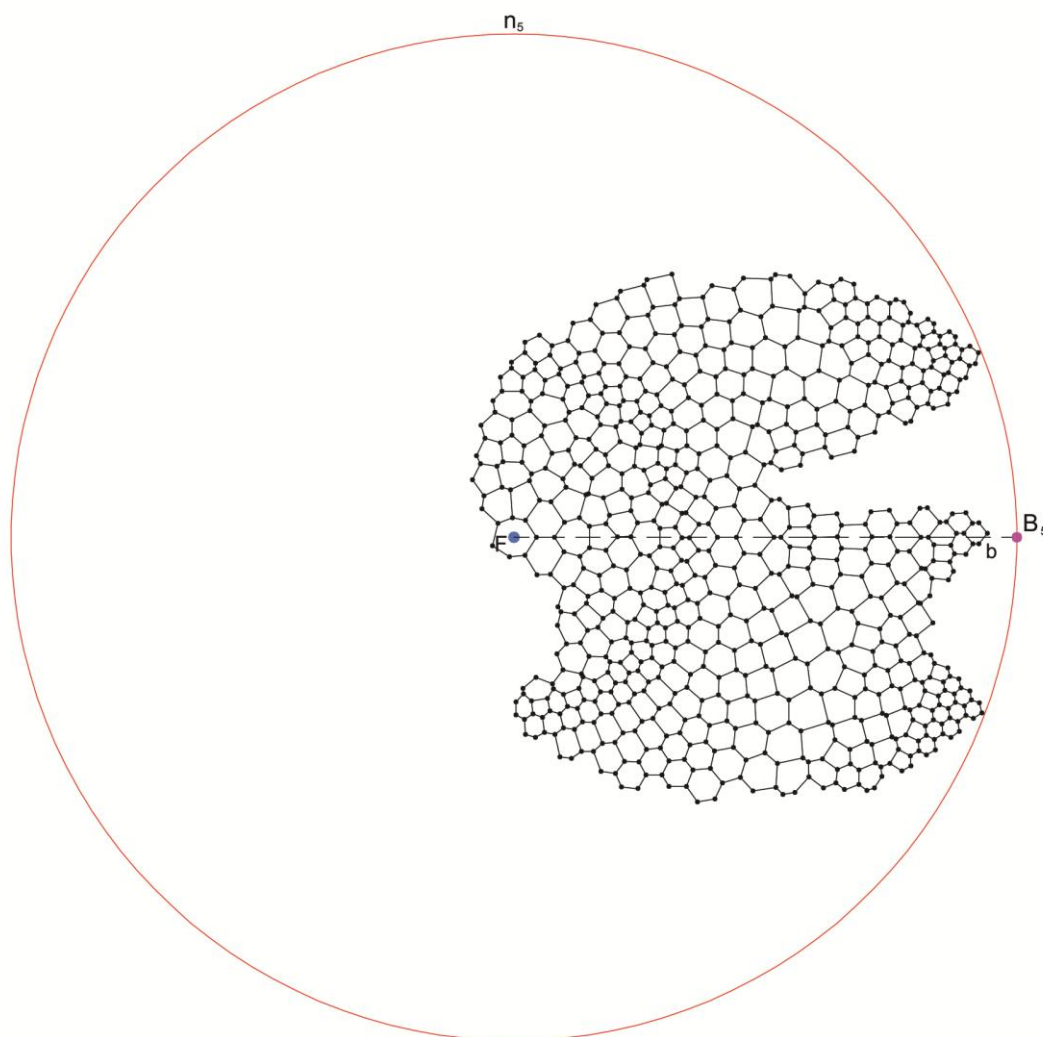


Fig. 351 – Identificação dos pontos correspondentes aos vértices dos polígonos estruturais.

_ *Remarcação do nível de expansão máximo da composição geométrica.*

O nível de expansão máximo (n_5) do modelo, não ficou fragmentado em dois ou mais arcos aquando da exclusão das guias de controlo formal. Portanto, não será necessário proceder à remarcação deste, no exemplo em curso.

Referenciação dos pontos a linhas de raio do último nível de expansão

Identificados os pontos, há que os referenciar no espaço circunscrito pelo último nível de expansão. A sua identificação é realizada do seguinte modo. Cada ponto é associado a uma linha de raio do arco de circunferência e terá uma denominação “P”. A identificação de cada linha de raio é realizada com a designação dos pontos que contêm e com a denominação do número referencial do último nível de expansão (n_5) (fig. 352). A associação dos pontos às linhas de raio de n_5 , pode ser realizada de duas maneiras distintas. Pela identificação de um único ponto (RE7), ou pela identificação de dois pontos em simultâneo (RE8) (consultar anexo 2, fase 4, ponto 4.3).

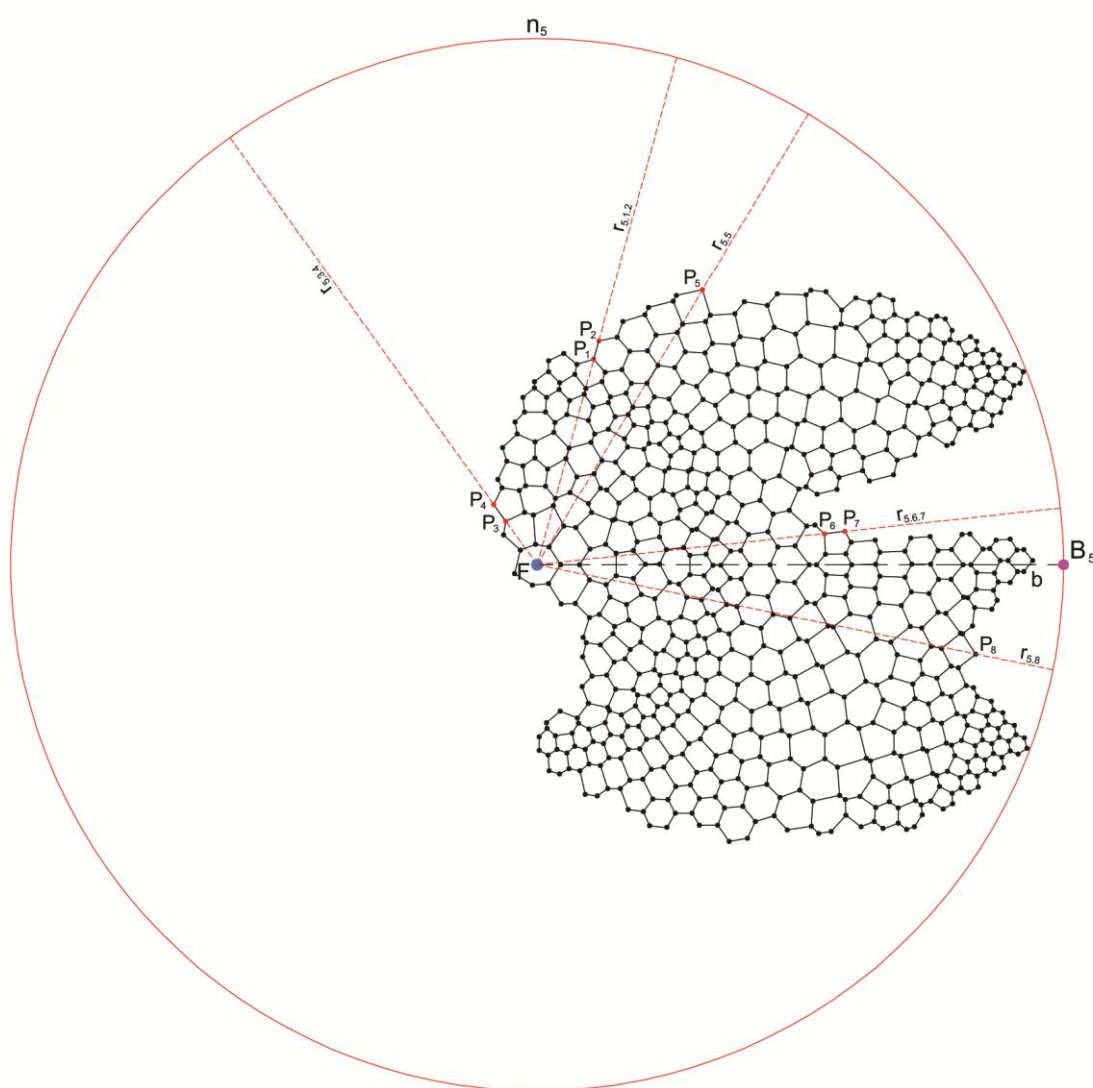


Fig. 352 - Referenciação dos pontos a raios de circunferência do nível de expansão n_5 . Aplicação da regra RE7, na denominação de pontos que delimitam segmentos de reta do perímetro dos polígonos estruturais, não coincidentes com a linha de raio (P_5 e P_8). Aplicação da regra RE8, a pontos que delimitam um segmento de reta dos polígonos estruturais, coincidentes com a linha de raio (P_1 - P_2 , P_3 - P_4 e P_6 - P_7).

_ Definição da superfície espacial

Sobre o segmento de reta b , delimitado pelos pontos F e B_5 , é definida a amplitude do arco da superfície para a qual serão transferidos os pontos. No modelo em curso, a transferência é realizada para a superfície de um toro (fig. 353). O arco referencial da superfície escolhida detém uma amplitude de 120° e resulta da aplicação da regra RE9 (consultar anexo 2, fase 4, ponto 4.4).

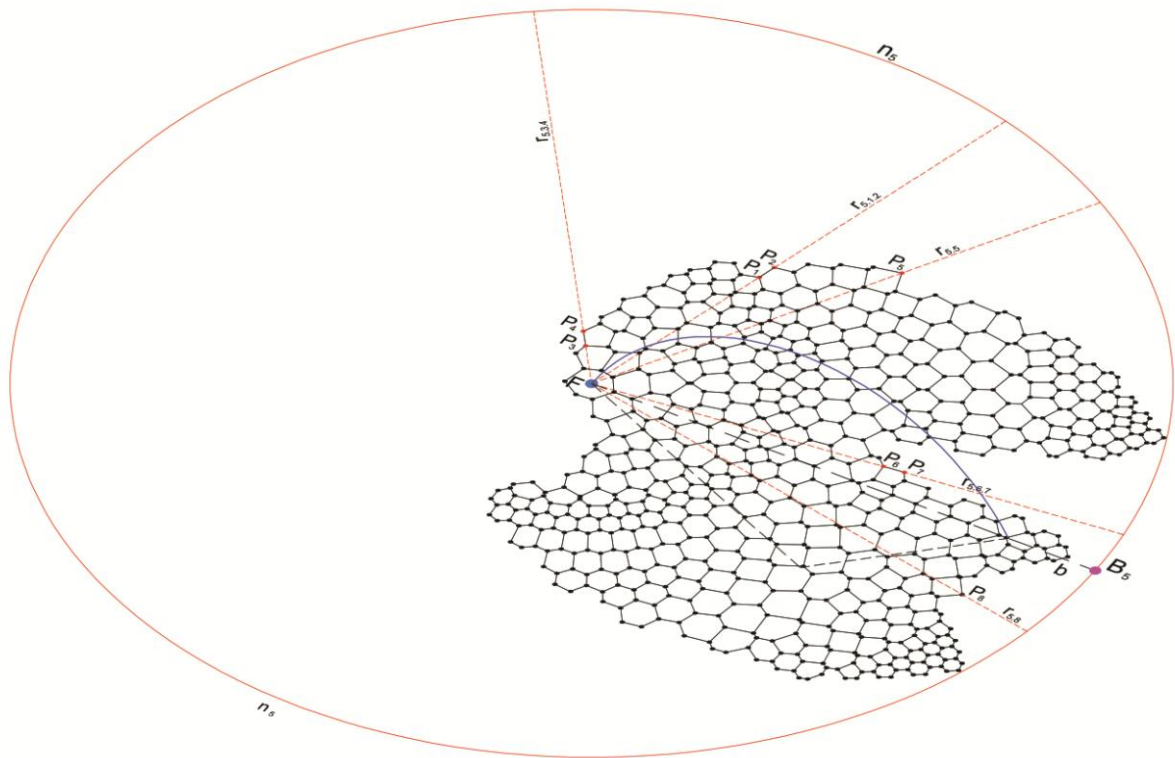


Fig. 353 – Definição da superfície referencial do toro ($\alpha=120^\circ$).

Uma das extremidades do arco referencial, é sempre referenciada no ponto F .
O ponto oposto do mesmo arco, fica situado num ponto sobre o segmento de reta b (RE9).

_ Transferência dos pontos do plano bidimensional para a superfície espacial

A transferência dos pontos para a superfície requer duas distintas etapas. Primeiro, à que associar a cada linha de raio de n_5 o arco da superfície referencial (toro) situado sobre o segmento de reta b . A reprodução deste arco é realizada mediante a aplicação da regra RE9. Segundo, a transferência dos pontos situados no plano bidimensional para o arco da superfície referencial do toro, é feita mediante um processo de correspondência de distâncias a ângulos. À distância existente entre um ponto de denominação P e o ponto F , corresponde um determinado ângulo no arco da superfície (consultar anexo 2, fase 4, ponto 4.5). Para facilitar a legibilidade, a

representação gráfica do processo de transferência de pontos exemplificada na fig. 354, não contém referenciado a denominação dos pontos P e P'.

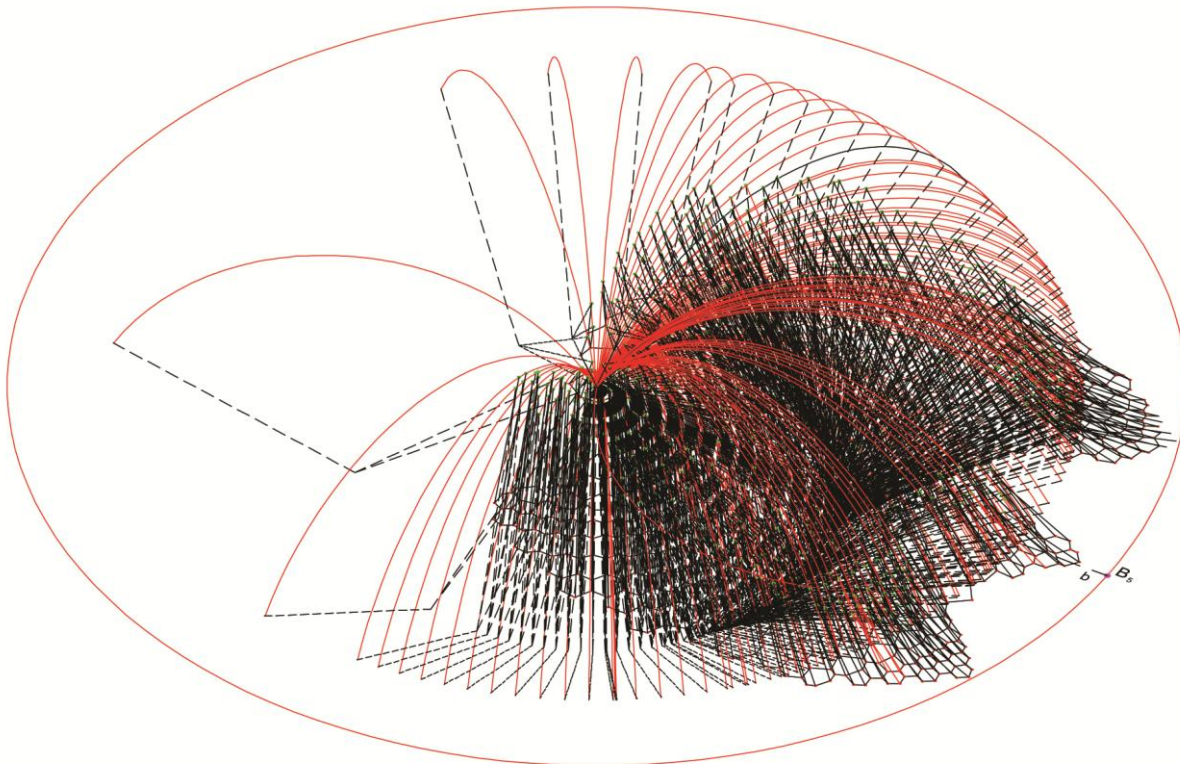


Fig. 354 – Transposição dos polígonos estruturais para a superfície.
 Duplicação do arco da superfície para as linhas de raio (RE11 e RE12) e transposição dos pontos para os arcos dos mesmos (RE15 e RE16).

Definição da composição geométrica final – simplificação

A definição final da composição é feita em duas fases. A primeira destina-se à transferência dos segmentos de reta do perímetro dos polígonos situados na base estrutural, para os respectivos pontos localizados nos arcos da superfície referencial (RE24) (fig. 355). A segunda fase resume-se à exclusão de todos os elementos geométricos necessários à transferência desses mesmos polígonos. Este processo de simplificação contempla a exclusão dos seguintes elementos: o arco referencial da superfície associado ao segmento de reta b (RE19), os arcos da superfície que foram associados a linhas de raio de n_5 (RE21), as linhas de ângulo associadas aos arcos da superfície aquando da localização dos pontos de denominação P' (RE23) (fig. 356), os pontos de denominação P_y e P'y e respetivo segmento de reta delimitado por esses mesmos pontos (RE25) e o perímetro do último nível de expansão n_5 (RE26) (fig. 357) (consultar anexo 2, fase 4, ponto 4.6).

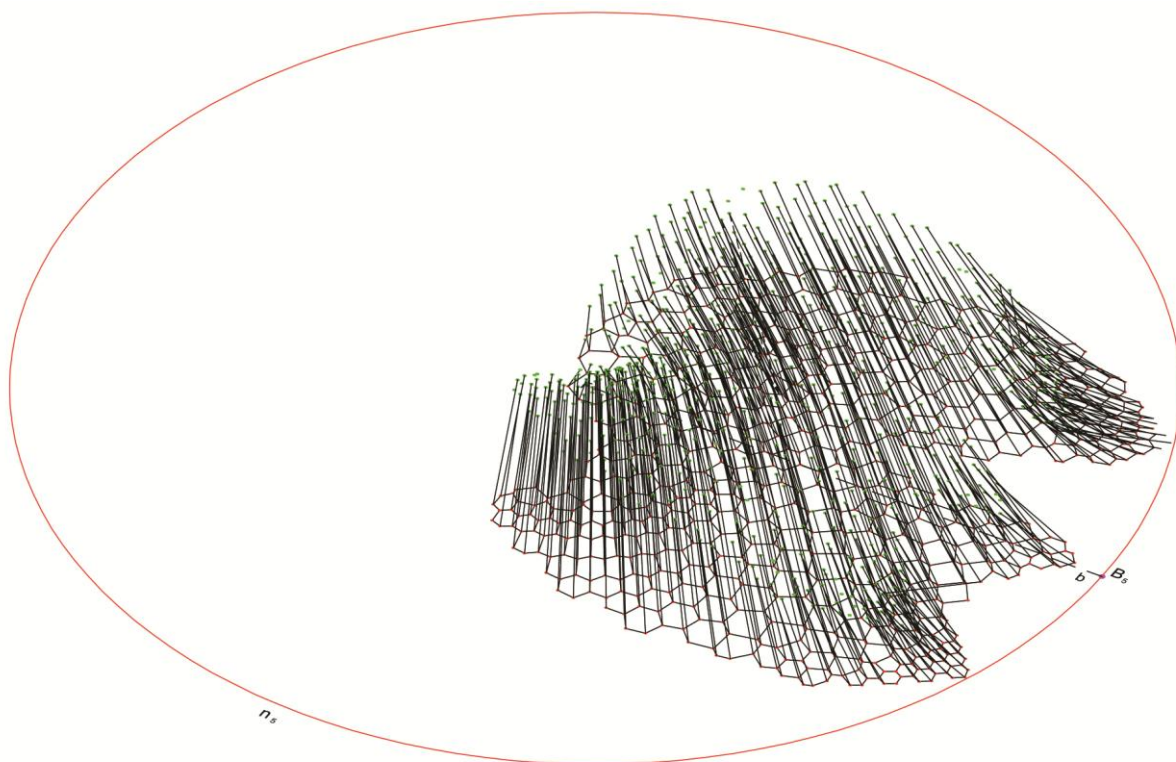


Fig. 355 - Simplificação do processo de transferência dos polígonos para a superfície _ exclusão dos arcos referenciais da superfície do toro (RE19 e RE21) e das linhas de ângulo (RE23).

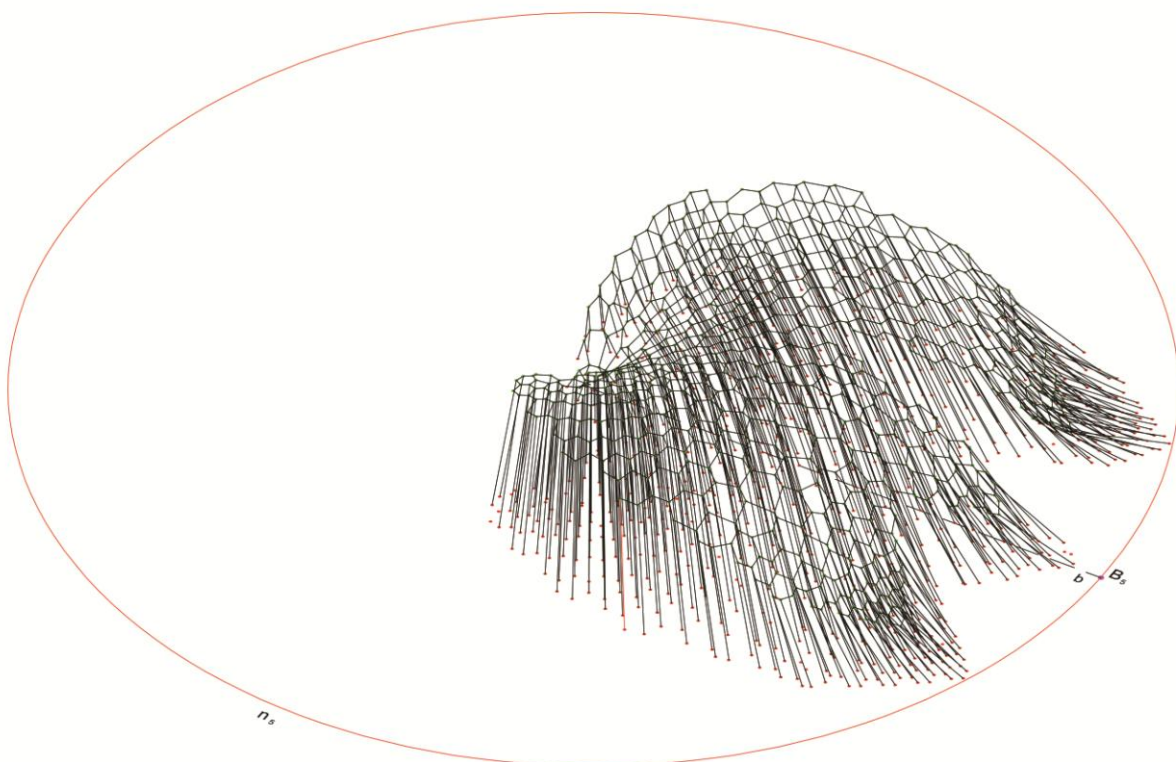


Fig. 356 - Simplificação do processo de transferência dos polígonos para a superfície _ transferência dos segmentos de reta do perímetro dos polígonos para a superfície referencial (RE24).

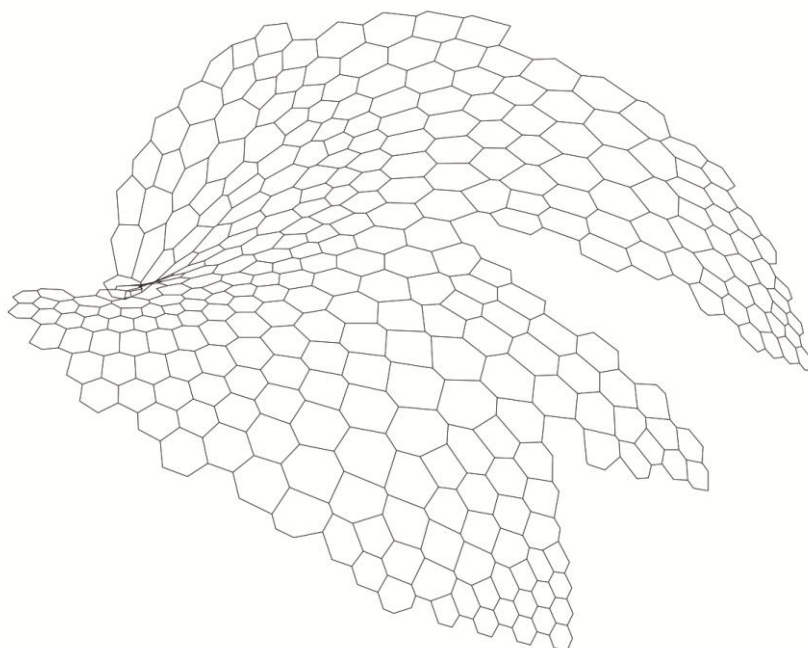


Fig. 357 - Simplificação do processo de transferência dos polígonos para a superfície _ definição da forma final com a exclusão dos pontos dos vértices dos polígonos situados na superfície e no plano bidimensional inicial (RE25). Exclusão do último nível de expansão da base estrutural (RE26).

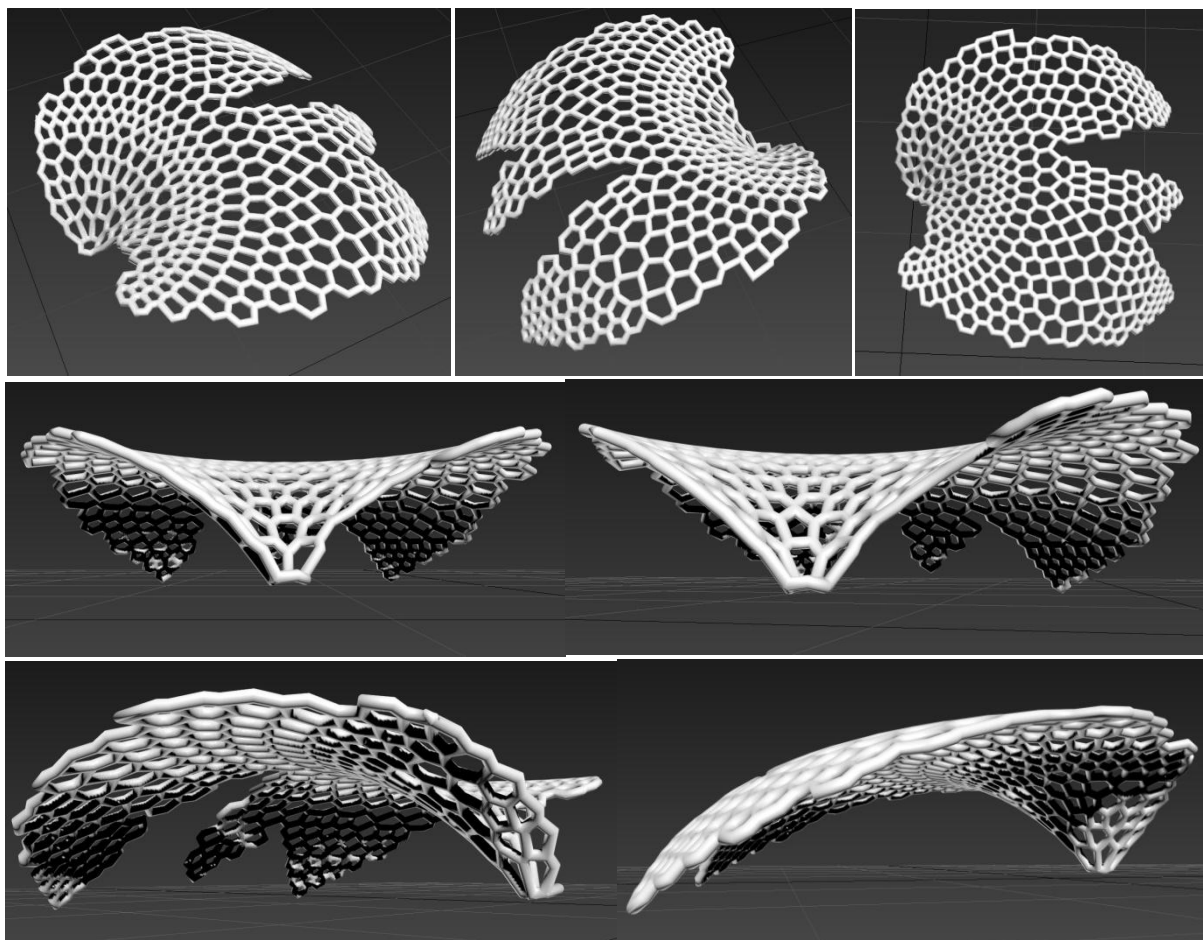


Fig. 358 – Visualização virtual do modelo. Perspetivas.

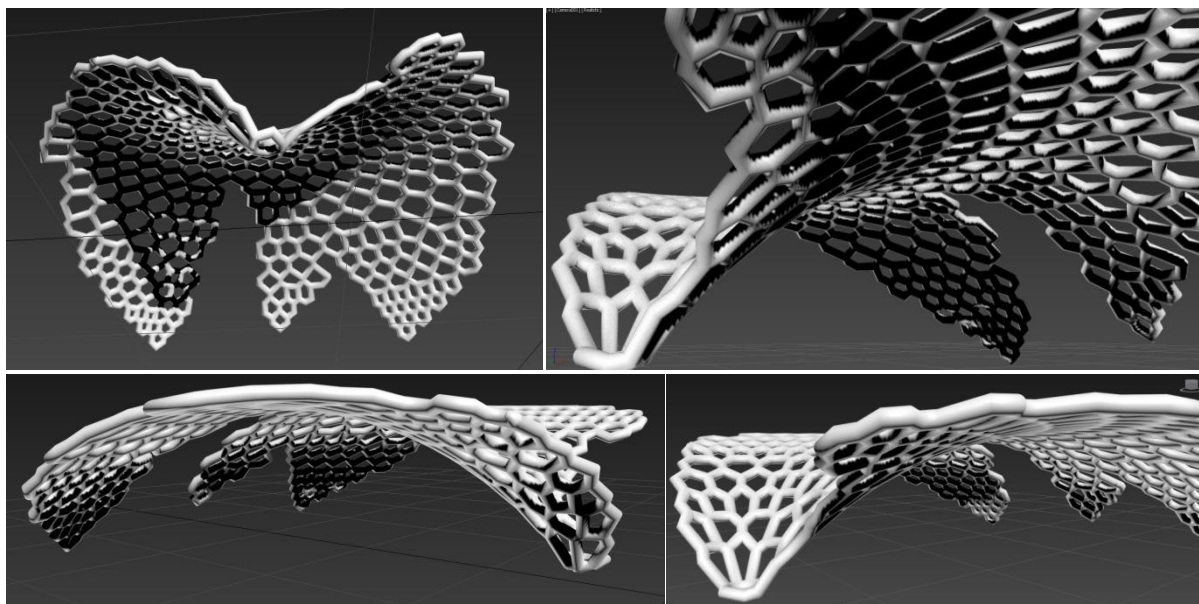


Fig. 359 – Visualização virtual do modelo. Perspetivas.

Para além do modelo exemplificado, foram também gerados, com a ferramenta de desenho, outros dois sobre a superfície de um toro (fig. 360). O processo simplificado de geração dos mesmos e respetiva visualização virtual pode ser consultado no anexo 3.

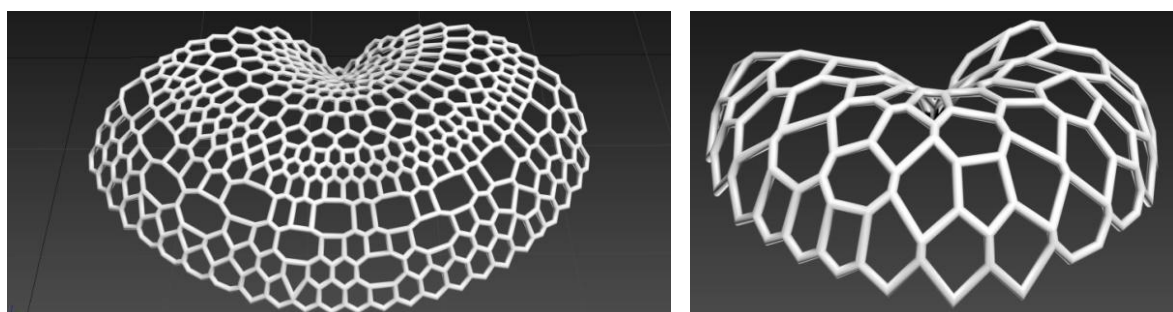


Fig. 360 – Exemplo de outros modelos referenciados numa superfície de toro.

4.3.2 GERAÇÃO DE UM MODELO SOBRE UMA SUPERFÍCIE ESFÉRICA

Tal como no modelo gerado no ponto 4.3.1, o desenvolvimento do modelo numa superfície esférica, é também dividido em quatro fases distintas. Em cada uma dessas etapas, são denominadas as regras utilizadas. No entanto, também neste caso, estas não são descritas. Todo esse processo descritivo e exemplificativo das regras é remetido para a gramática (anexo 2).

Regras globais

_ Definição dos níveis de expansão

Para se iniciar a geração do modelo, há que proceder em primeiro lugar, à definição da base estrutural. A base estrutural deste modelo é realizada mediante uma expansão em onda com quatro níveis de expansão, todos eles referenciados no mesmo centro, o ponto F (fig. 361). A definição dos níveis de expansão é realizada através da aplicação das seguintes regras: RG1, RG2, RG3 e RG4 (consultar anexo 2 – fase 1 – ponto 1.1).

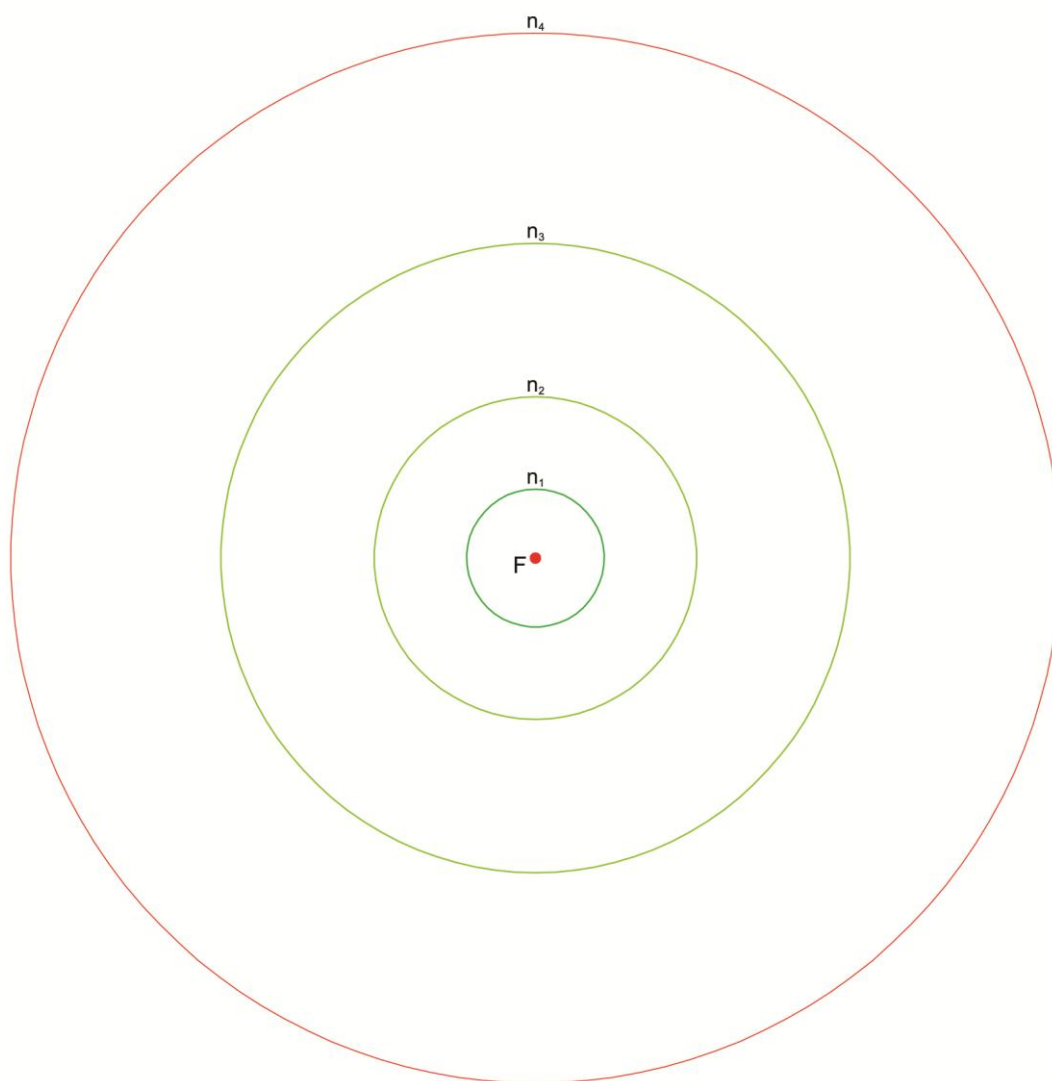


Fig. 361 – Geração de 4 níveis de expansão, através da aplicação das regras RG1, RG2, RG3 e RG4. Nível de expansão n_1 gerado com a regra RG1, n_2 com a regra RG2, n_3 com a regra RG3 e por fim, n_4 com a regra RG4.

_ Definição de subníveis de expansão

O espaço contido entre dois níveis de expansão pode ser preenchido com subníveis de expansão. A adição de subníveis de expansão deve ser feita de tal modo, que estes devem revelar uma cadência gradiente do centro para a periferia. Esse efeito gradiente pode revelar-se nas estruturas de duas maneiras distintas. Por efeito decrescente, ou por efeito de oscilação. As duas soluções podem coexistir, em simultâneo, na mesma base estrutural, mas sempre em intervalos de expansão distintos. No exemplo em curso, optou-se pela implementação das duas hipóteses. A sua distribuição é feita do seguinte modo: nos intervalos de expansão $[n_1, n_2]$ e $[n_2, n_3]$ é aplicado efeito decrescente mediante a geração de um e três subníveis de expansão, respetivamente. No intervalo de expansão $[n_3, n_4]$, é aplicado efeito de oscilação mediante a aplicação de cinco níveis de expansão (fig. 362). A geração dos subníveis de expansão resultam da aplicação das regras RG6, RG9, RG12, RG13, RG14, RG16 e RG17 (consultar anexo 2 – fase 1 – ponto 1.2).

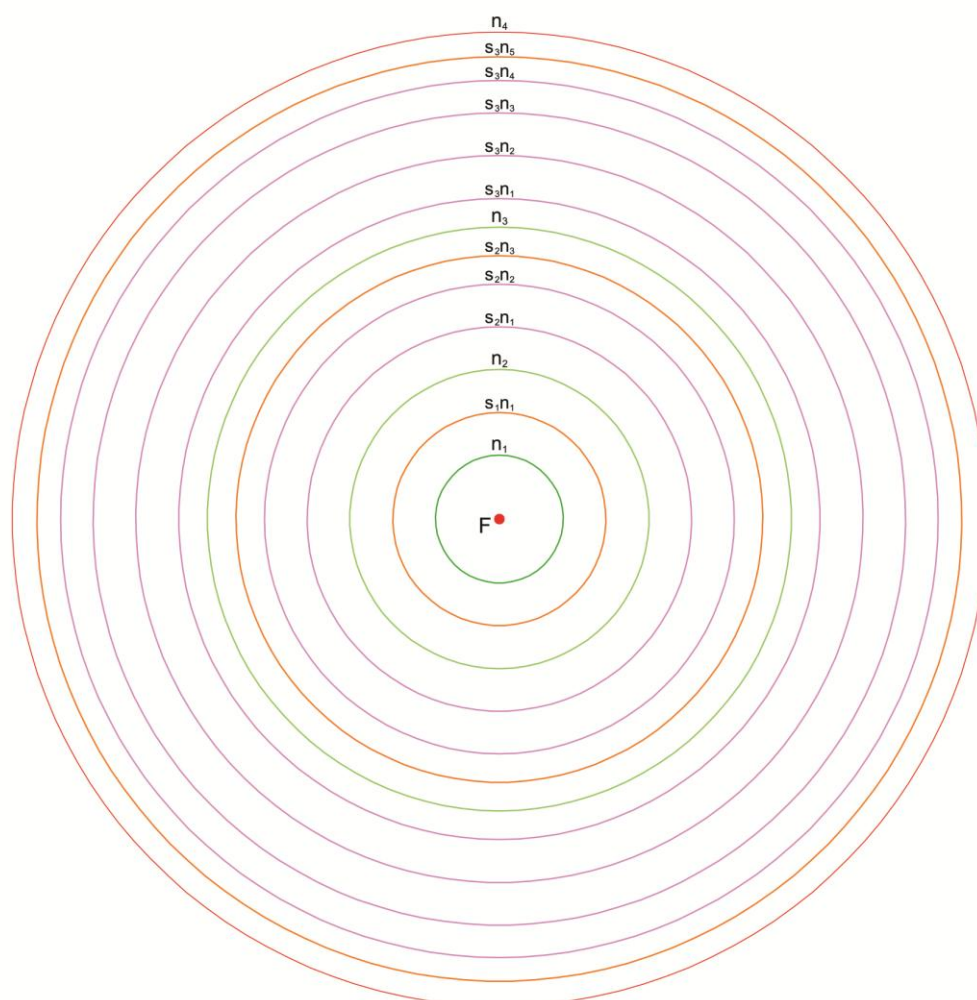


Fig. 362 – Geração dos subníveis de expansão.

O intervalo de expansão $[n_1, n_2]$ contém um subnível de expansão (s_1n_1), definido com a regra RG6. O intervalo de expansão $[n_2, n_3]$ contém três subníveis de expansão (s_1n_2, s_2n_2, s_3n_2). A sua geração recorreu à aplicação das regras RG9, RG12 e RG13. O intervalo de expansão $[n_3, n_4]$ contém cinco subníveis de expansão ($s_1n_3, s_2n_3, s_3n_3, s_4n_3, s_5n_3$), gerados com as regras RG13, RG14, RG16 e RG17.

Regras de controlo formal

_ Definição dos ângulos de expansão estrutural

Apesar de a base estrutural revelar uma forma circular, fruto da opção pela expansão em onda, a forma que nela for gerada, não tem a obrigação de revelar a mesma configuração. O ângulo de expansão tem como função, a escolha de uma parcela da base estrutural, onde é referenciada a forma. Este troço, será posteriormente sujeita a ações de simetria, quer bilateral ou radial, que irão fechar e definir a forma pretendida. Para o modelo exemplificativo, optou-se por definir um ângulo de expansão (α) igual a 90° (RCF1), sendo este delimitado pelas semi retas b e dl, ambas referenciadas no ponto F (fig. 363) (consultar anexo 2 – fase 2 – ponto 2.1).

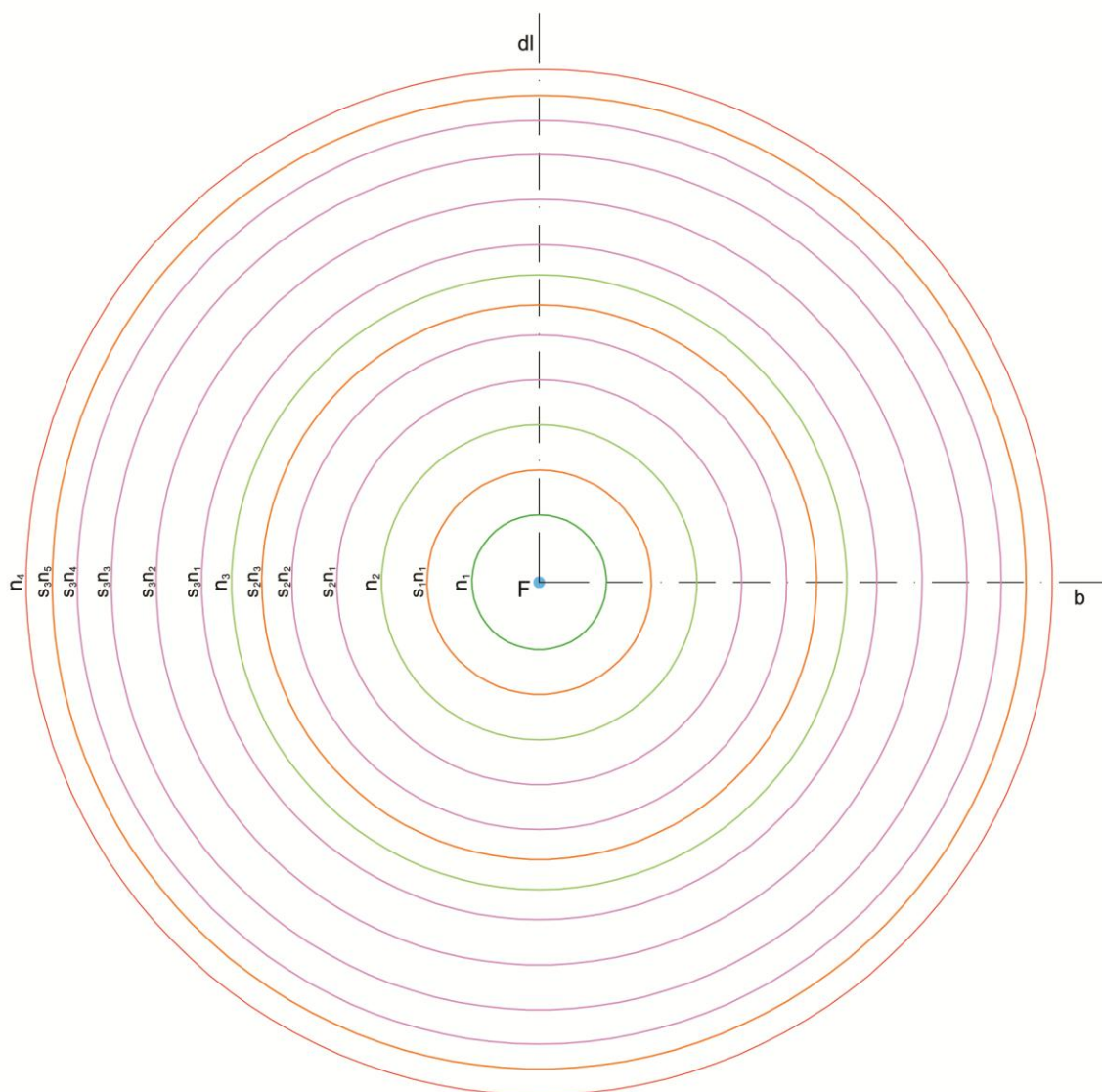


Fig. 363 – Geração do ângulo de expansão estrutural mediante a aplicação das regras RCF1.
Ângulo de expansão de 90° .

_ Definição da grelha de pontos

A geração de uma forma, dentro do espaço delimitado pelo ângulo de expansão, requer a geração de pontos referenciais que desempenhem a função de guia. Os pontos que são introduzidos, apenas ficam referenciados nas semi retas delimitadoras do ângulo de expansão (b e dl) e nos troços dos níveis de expansão dentro desse mesmo ângulo. Os pontos gerados têm três denominações distintas. São introduzidos os pontos de denominação D, que se localizam sobre o segmento de reta dl e sobre os níveis de expansão, os pontos de denominação B, situados sobre o segmento de reta b e os pontos de denominação V, situados sobre o último nível de expansão (n_4). A todos os pontos situados sobre o perímetro do último nível de expansão (n_4), será associado uma linha de foco que irá unir cada um deles ao ponto F (fig. 364). As regras utilizadas na geração da grelha de pontos para do modelo exemplificativo foram as seguintes: RCF2, RCF3, RCF4, RCF5, RCF6, RCF8, RCF9, RCF10, RCF11, RCF14 e RCF15 (consultar anexo 2 – fase 2 – ponto 2.2).

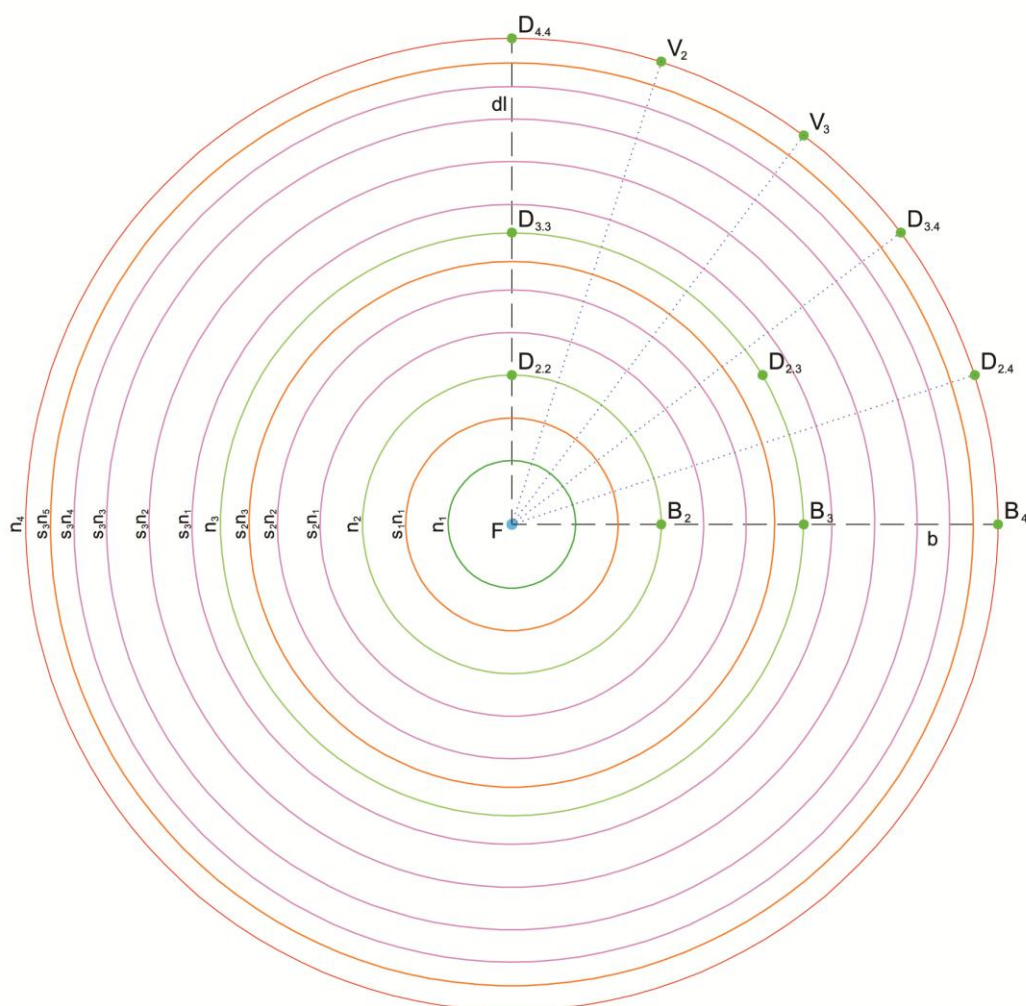


Fig. 364 – Definição da malha de pontos dentro do intervalo de expansão definido (90°). Os pontos com denominação “D” são gerados com a aplicação das regras RCF2, RCF3, RCF4, RCF5 e RCF6. Os de denominação “B”, com as regras RCF8, RCF9, RCF10 e RCF15 e os de denominação “V”, com a regra RCF11. As linhas de foco que unem os pontos localizados no ultimo nível de expansão com o ponto F, são gerados mediante a aplicação da regra RCF14.

_ Zona de interdição formal

As formas a gerar na base estrutural, não devem ultrapassar uma relação proporcional horizontal / vertical de 1/4. Para evitar esta situação, é assinalado no ângulo de expansão, uma zona de restrição formal. Ou seja, as formas para responderem positivamente à restrição imposta, não devem ser geradas apenas com os pontos situados dentro dessa área. Devem obrigatoriamente, abranger pontos externos à mesma. Neste caso específico, optou-se pela geração de uma forma por simetria radial, o que implica que a zona de interdição é gerada de acordo com as ordens de grandeza descritas na regra RCF18 (consultar anexo 2 – fase 2 – ponto 2.3). Também neste caso, a introdução da zona de interdição na base estrutural do modelo em geração, não interfere com nenhum ponto situado no ângulo de expansão (os pontos situados sobre os segmentos de reta b e dl não são contemplados), podendo esta ser gerada sem qualquer tipo de restrição proporcional (fig. 365).

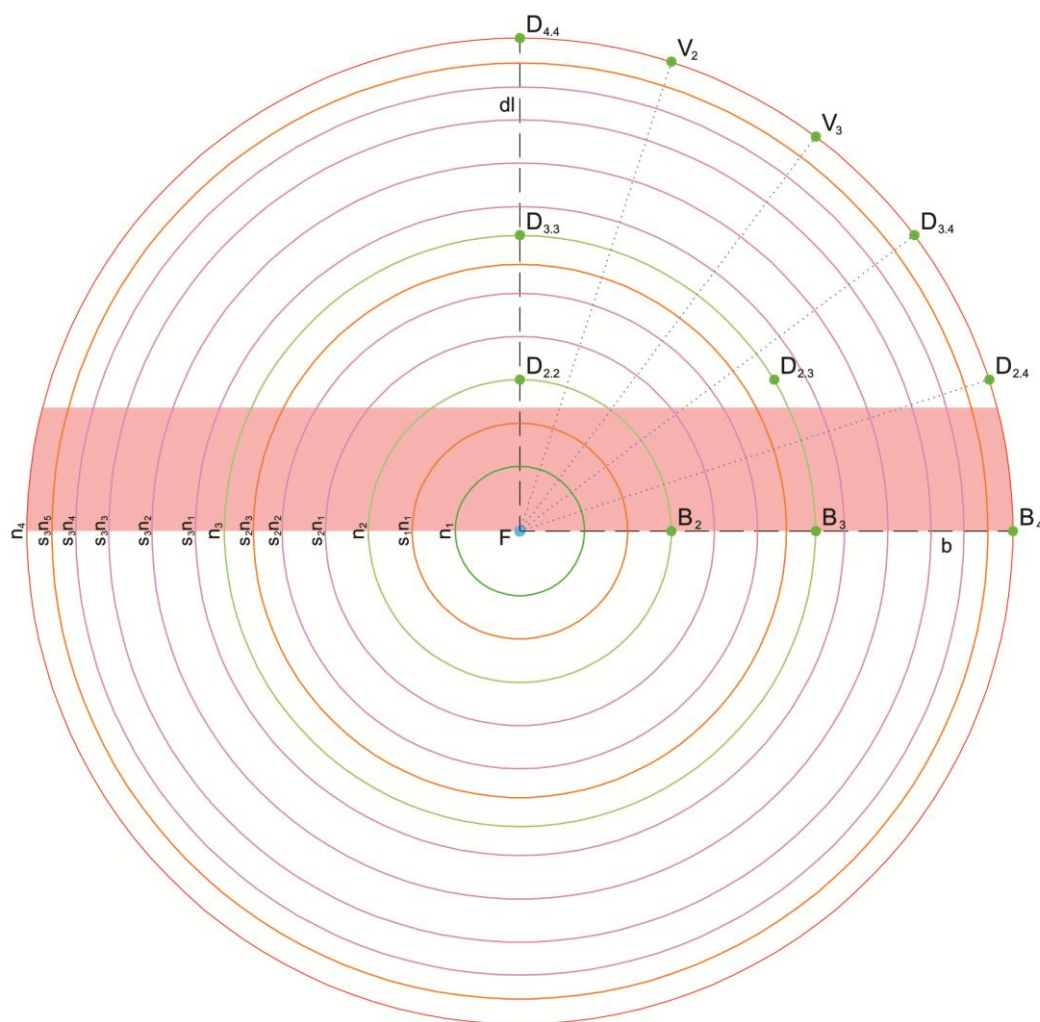


Fig. 365 – Geração da zona de interdição, antevendo a geração de uma composição geométrica com simetria radial (RCF18). A zona de interdição gerada, não absorve nenhum dos pontos situados dentro do ângulo de expansão, a geração da forma, não irá ter qualquer tipo de restrições que influencie a relação proporcional das suas dimensões.

Tendo como início o ponto F, são gerados segmentos de reta em continuidade e delimitados pelos pontos da grelha. Estes em conjunto estabelecem uma predefinição da forma a gerar. No modelo exemplificativo, o perfil auxiliar gerado é constituído por três segmentos de reta, tendo o último a particularidade de ser disposto na perpendicular ao segmento de reta b (fig. 366). A geração destes três elementos é realizada através da aplicação das regras RCF19, RCF21 e RCF34 (consultar anexo 2 – fase 2 – ponto 2.4).

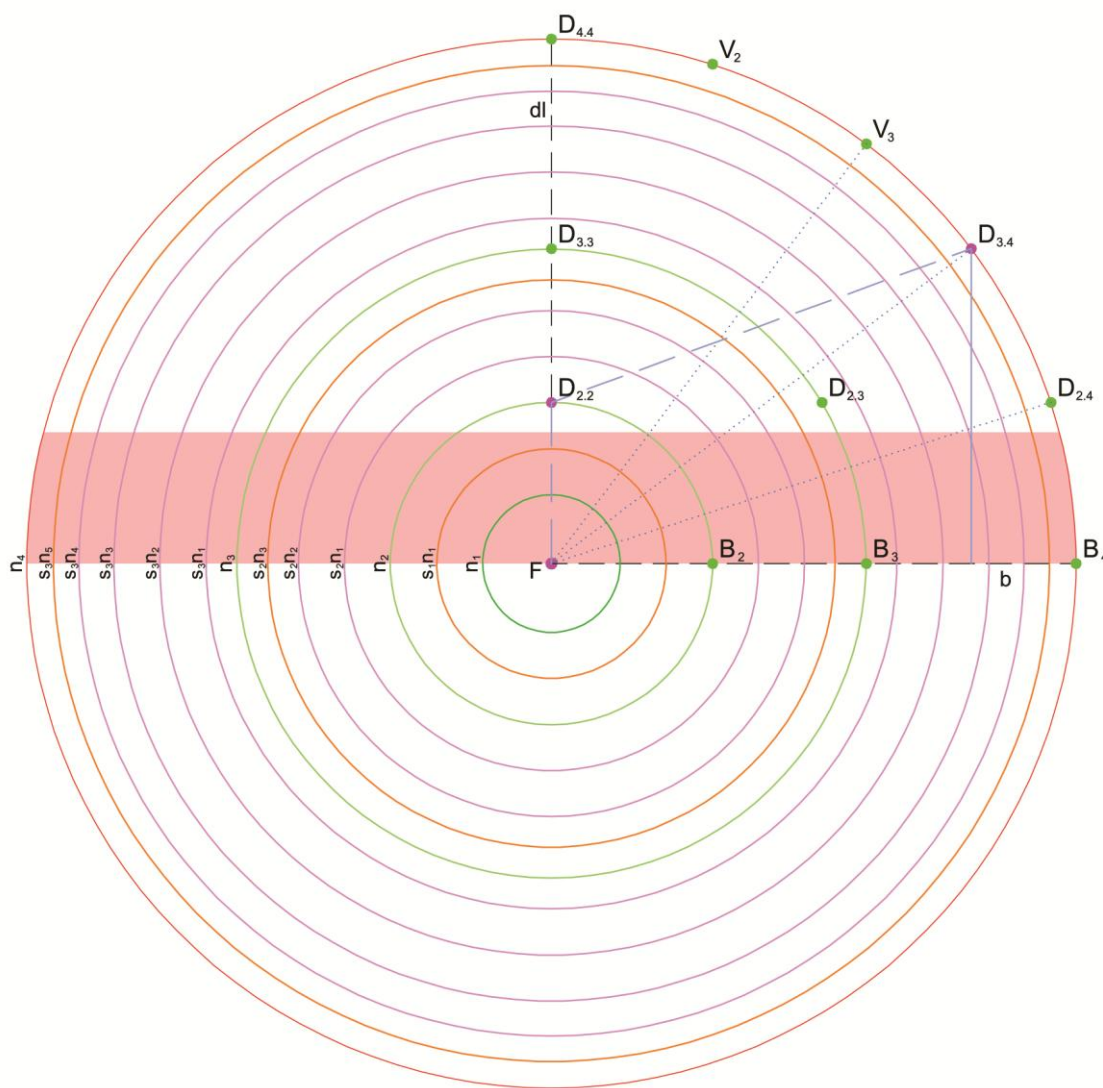


Fig. 366 – Geração do perfil auxiliar definido com três segmentos de reta. O primeiro é delimitado pelos pontos F e D_{2.2} (regra RCF19), o segundo pelos pontos D_{2.2} e D_{3.4} (RCF21) e o terceiro pelo ponto D_{3.4} e um ponto do segmento de reta b (RCF34).

O processo de geração deste modelo detém uma particularidade única, apenas aplicada em modelos com ângulo de expansão de 90° e que apresente uma reflexão por simetria radial. Se um dos segmentos de reta do perfil auxiliar for delimitado por um ponto situado no segmento de reta dl e outro no último nível de expansão, o perfil auxiliar pode ser fracionado. Esta quebra implica que este segmento de reta se posicione perpendicularmente ao segmento de reta b , tendo como eixo de rotação, o ponto que o delimita situado no último nível de expansão (fig. 367). Esta operação é realizada mediante a aplicação da regra RCF33 (consultar anexo 2 – fase 2 – ponto 2.4).

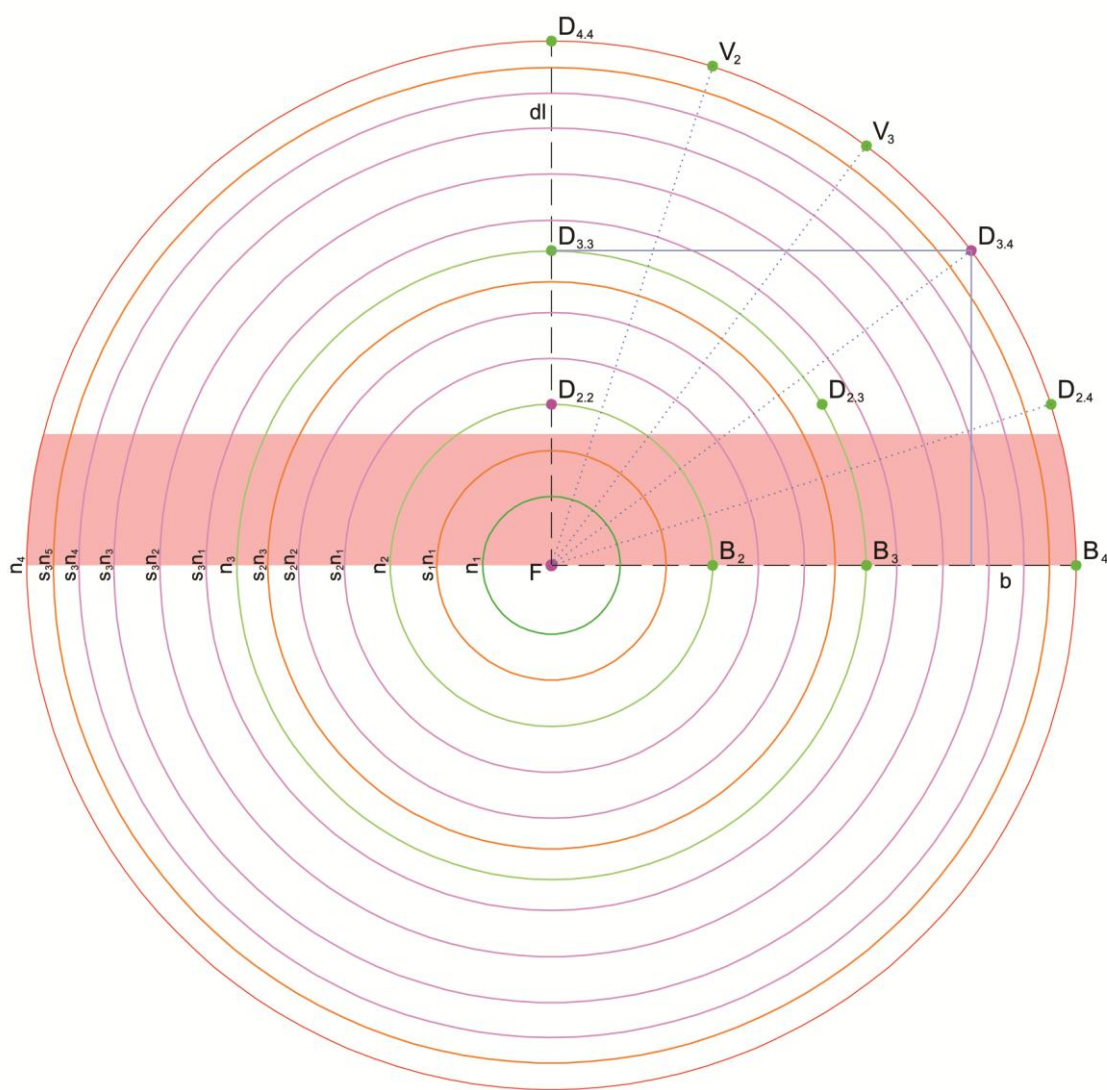


Fig. 367 – Rótura do perfil auxiliar, transformando o segmento de reta definido pelos pontos $D_{2,2}$ e $D_{3,4}$, num segmento de reta perpendicular ao segmento de reta dl , tendo como referencial de rotação o ponto $D_{3,4}$ (RCF33). Neste caso, a perpendicularidade do segmento de reta rodado face ao segmento de reta dl , coincide com o ponto $D_{3,3}$. Este não mudará para a cor rosa, para que após a aplicação da reflexão por simetria radial, este segmento de reta seja interpretado como sendo apenas um.

_ Geração formal por simetria bilateral ou radial

Durante as etapas anteriores, já foram tomadas decisões de ordem geométrica, tendo em conta uma reflexão por simetria radial. Esta etapa destina-se à reflexão do perfil auxiliar e das linhas de foco a ele associados (fig. 368). A reflexão dos elementos geométricos referidos é realizada mediante a aplicação das seguintes regras: RCF48, RCF49, RCF50 e RCF51 (consultar anexo 2 – fase 2 – ponto 2.5).

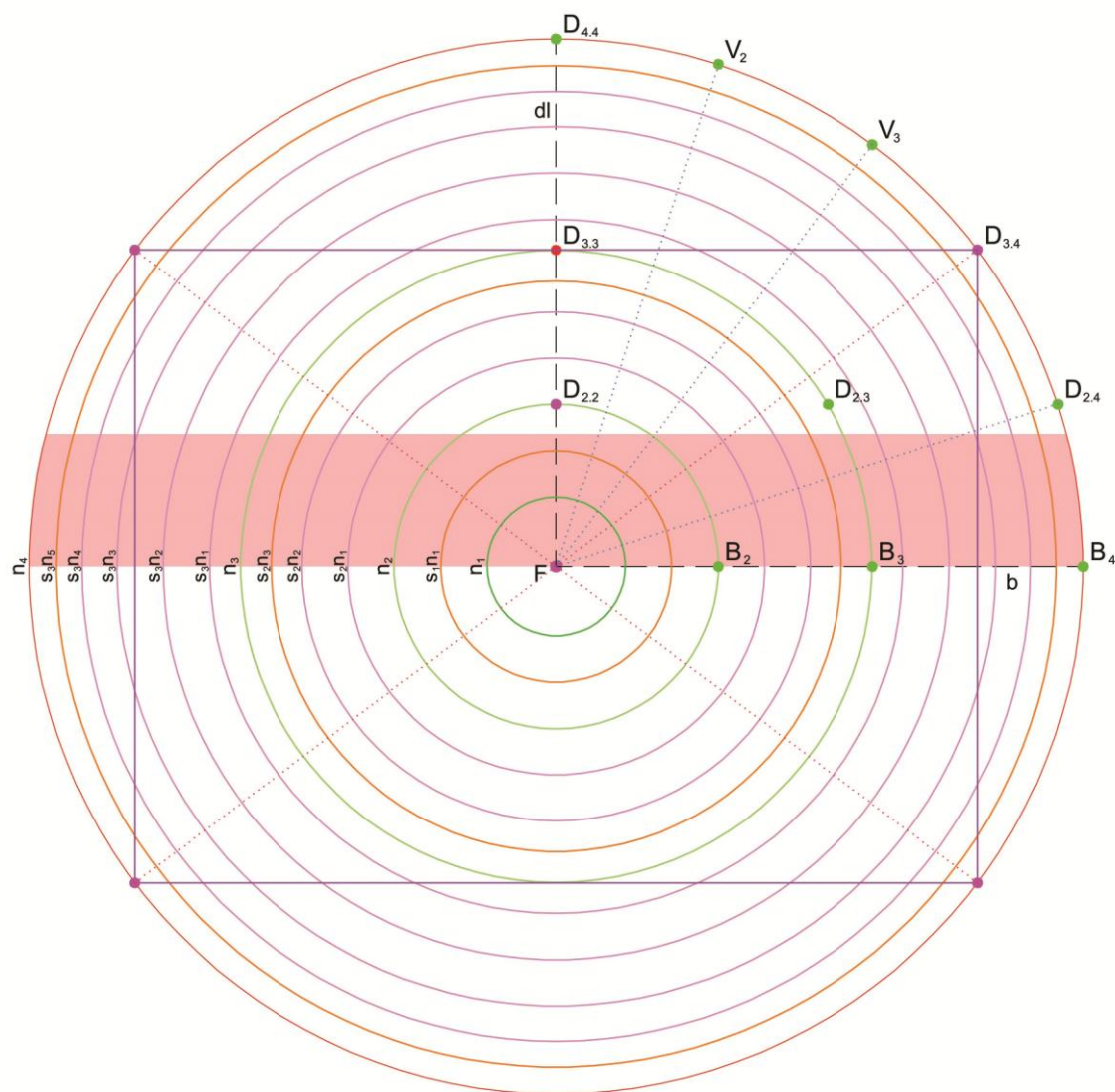


Fig. 368 – Reflexão por simetria radial.

Exclusão do segmento de reta definido pelos pontos F e $D_{2,2}$ separado do perfil formal (RCF48). Reflexão do segmento de reta definido pelo ponto $D_{3,4}$ e um ponto situado no segmento de reta b (RCF49) e reflexão do segmento de reta delimitado pelo ponto $D_{3,4}$ e um ponto situado sobre o segmento de reta dl (RCF50). Reflexão da linha de foco definida pelos pontos F e $D_{3,4}$ (RCF51).

_ Correção da sobreposição entre guias de controlo formal

O processo de geração de arcos associados aos segmentos de reta do perfil auxiliar, contempla restrições para casos de sobreposição dos mesmos. Portanto, sempre que esta situação despontar na guia de controlo formal, deve ser desfeita. O modelo em geração detém apenas um caso de sobreposição entre dois arcos regulares (fig. 370). Este é corrigido mediante a aplicação da regra RCF75A (consultar anexo 2, fase 2, ponto 2.7).

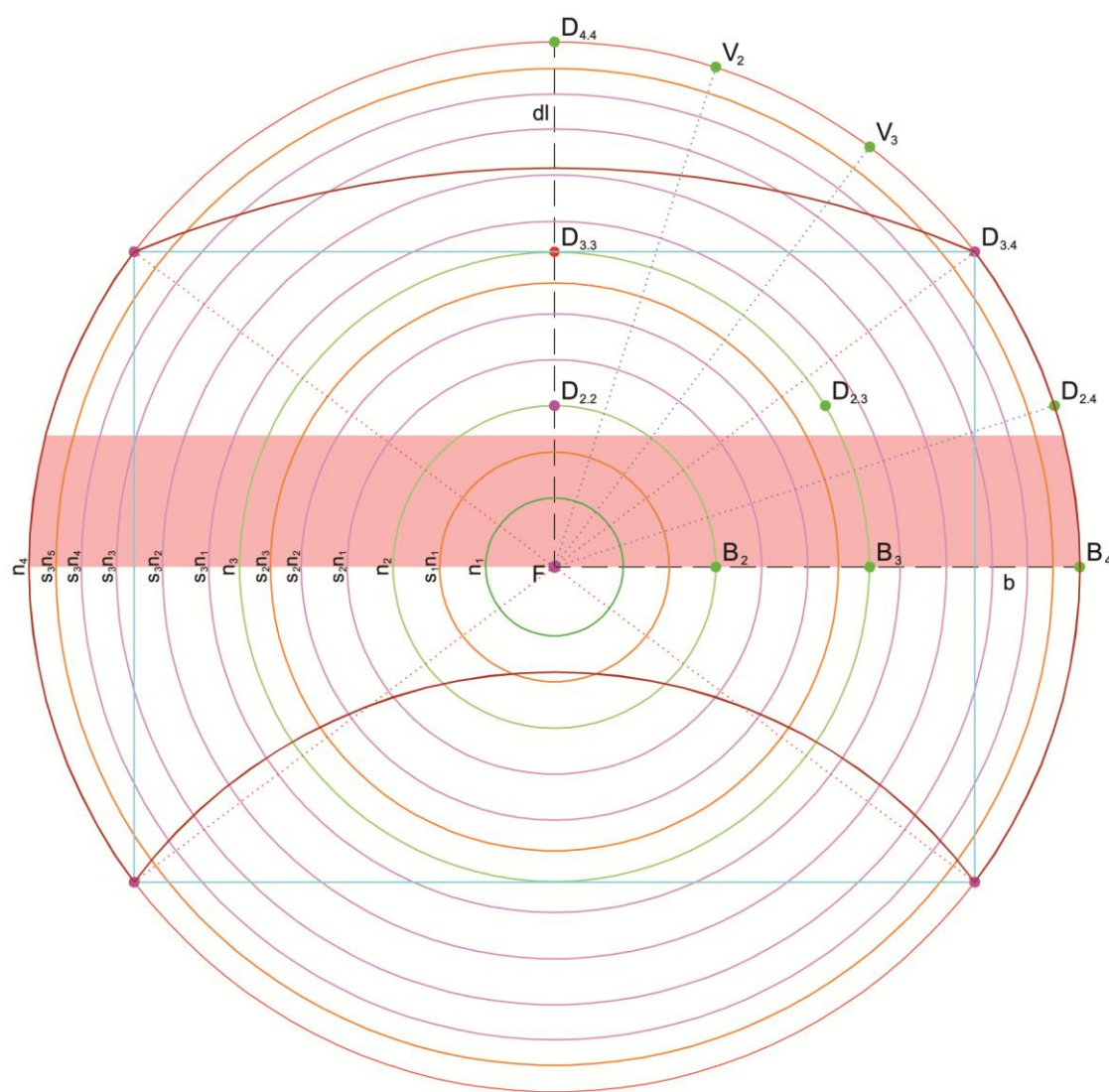


Fig. 370 – Correção dos casos de sobreposição de arcos. (comparar com a fig. 369).
O arco referenciado no segmento de reta perpendicular a b que contém o ponto $D_{3,4}$ é invertido, ficando sobreposto com o perímetro do último nível de expansão n_4 .

_ Concavidade e convexidade no último nível de expansão

Os arcos associados aos segmentos de reta definidos por pontos localizados no último nível de expansão devem ficar dispostos na composição mediante uma orientação particular. Os arcos devem convergir todos para o centro da composição, ou para fora deste. No caso do modelo em geração, existe uma predominância de arcos orientados para fora da composição. Apenas um não partilha dessa orientação. Portanto, mediante a aplicação da regra RCF91, essa disposição é revertida (fig. 371) (consultar anexo 2, fase 2, ponto 2.8).

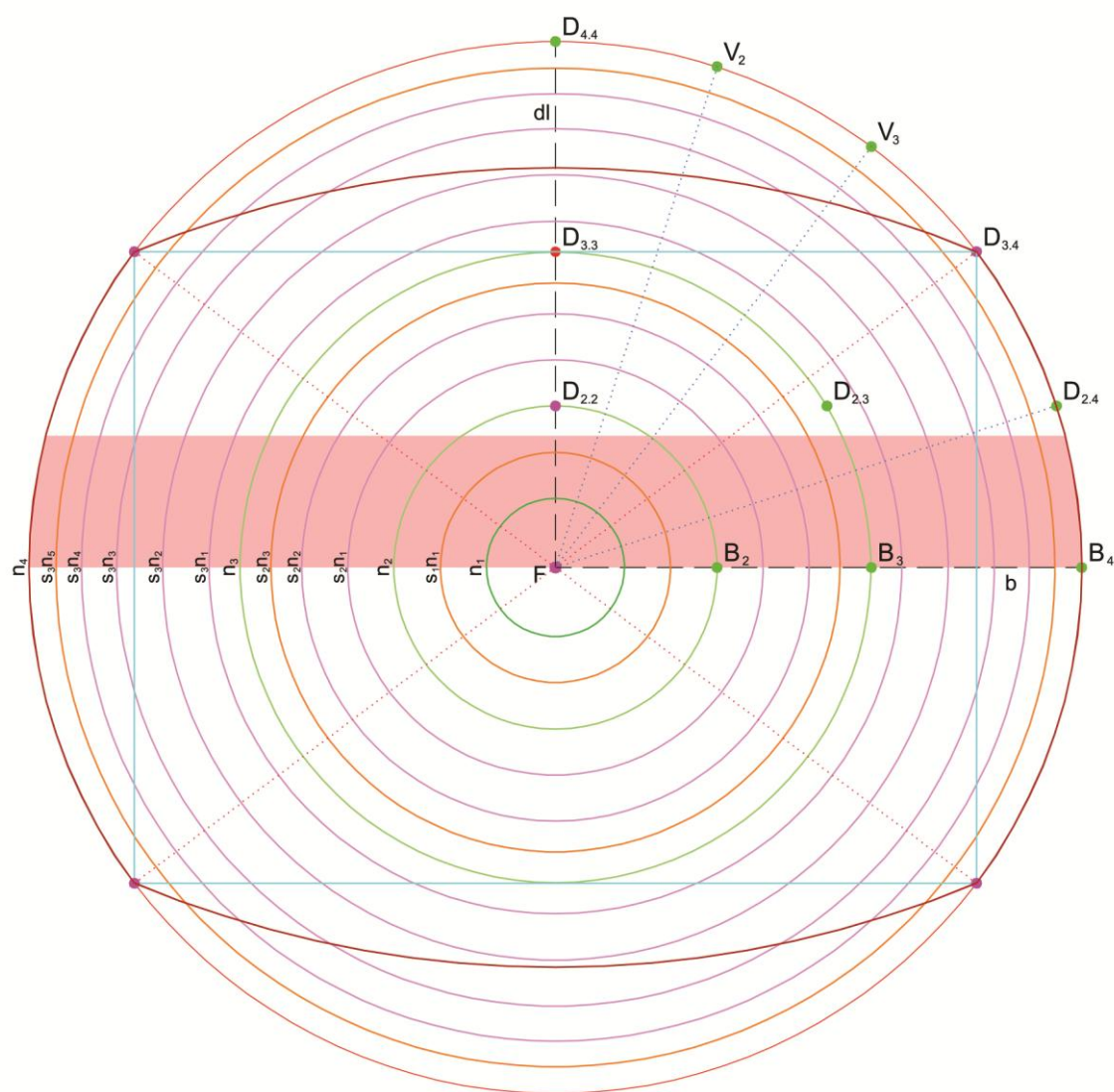


Fig. 371 – Convergência de todos os arcos da guia de controlo formal, no sentido oposto ao centro da composição (RCF91) (comparar com a fig. 370).

_ Simplificação

Definida a forma da guia de controlo formal, podem ser retirados da base estrutural, os elementos geométricos que foram usados para a sua definição. Este processo de simplificação contempla, no caso do modelo em curso, a exclusão dos segmentos de reta do perfil auxiliar, os pontos localizados sobre os níveis de expansão, a zona de interdição formal, linhas de foco e o segmento de reta dl pertencente ao ângulo de expansão (fig. 372). Esta operação é realizada mediante a aplicação das regras RCF93, RCF95, RCF96, RCF97, RCF98 e RCF99 (consultar anexo 2, fase 2, ponto 2.9).

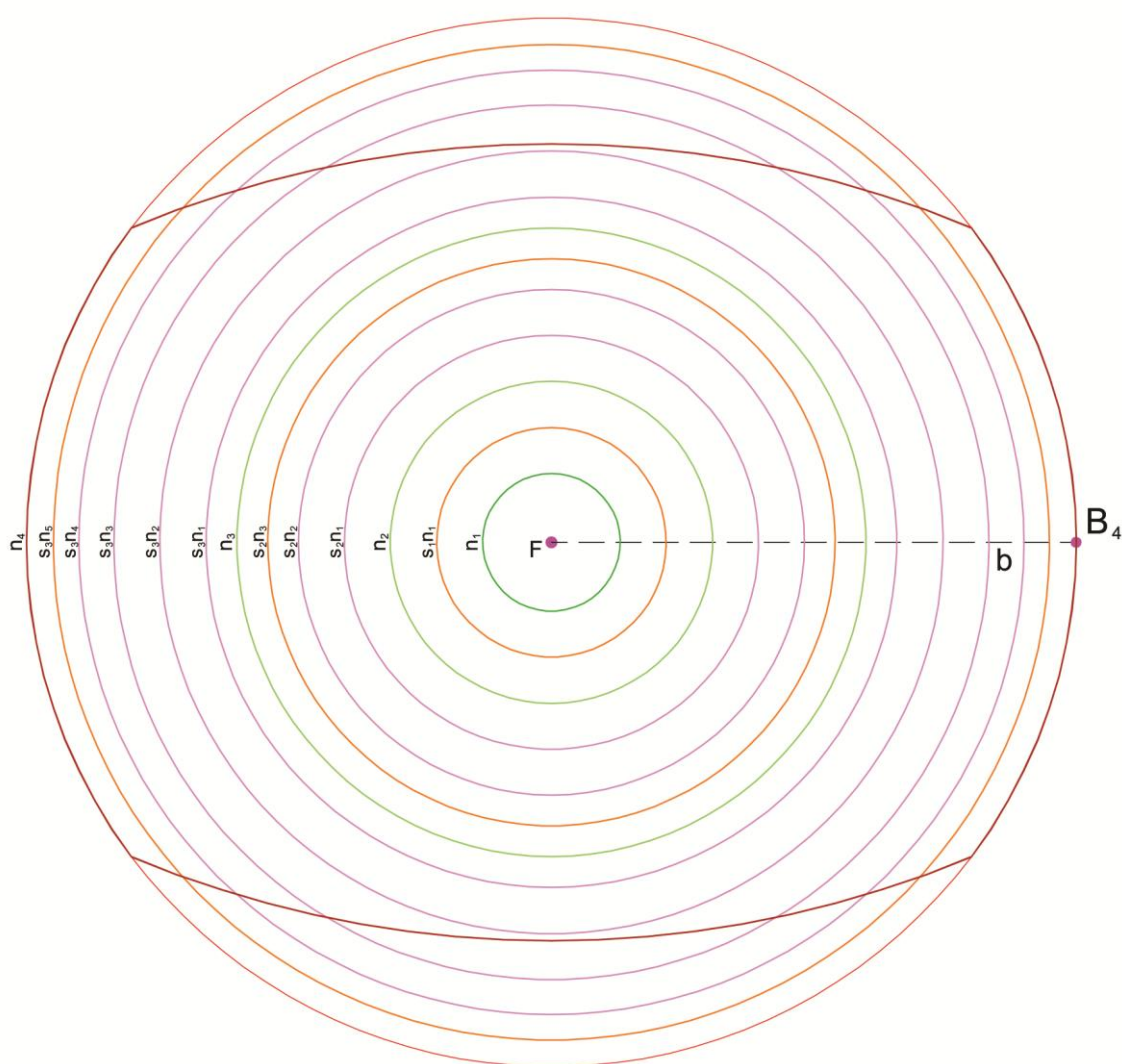


Fig. 372 – Configuração geométrica da base estrutural após a exclusão dos elementos geométricos auxiliares à geração da guia de controlo formal – segmentos de reta do perfil auxiliar (RCF93), linhas de foco (RCF95), segmento de reta dl (RCF96), pontos (RCF97 e RCF98) e zona de interdição formal (RCF99).

Regras locais

_ Definição da forma inicial + Expansão a partir da forma inicial

A geração dos elementos estruturais que dão “corpo” à composição estrutural é feita de um modo sequencial, tendo como origem o primeiro nível de expansão (n_1) e como termino referencial as guias de controlo formal e o último nível de expansão (n_4). A geração dos mesmos deve seguir a orientação das guias de controlo formal e devem ser gerados para lá dos limites das mesmas (exceção feita quando a guia de controlo formal coincide com o último nível de expansão) (fig. 373). As formas estruturais são geradas sobre a base estrutural através do conjunto de regras RL1 a RL13 (consultar anexo 2, fase 3, ponto 3.1 e 3.2). Apesar da base estrutural ter sido gerada com efeito de oscilação, optou-se por não gerar elementos geométricos com a hipótese opcional de oscilação (ver regras RL14, RL15 e RL16).

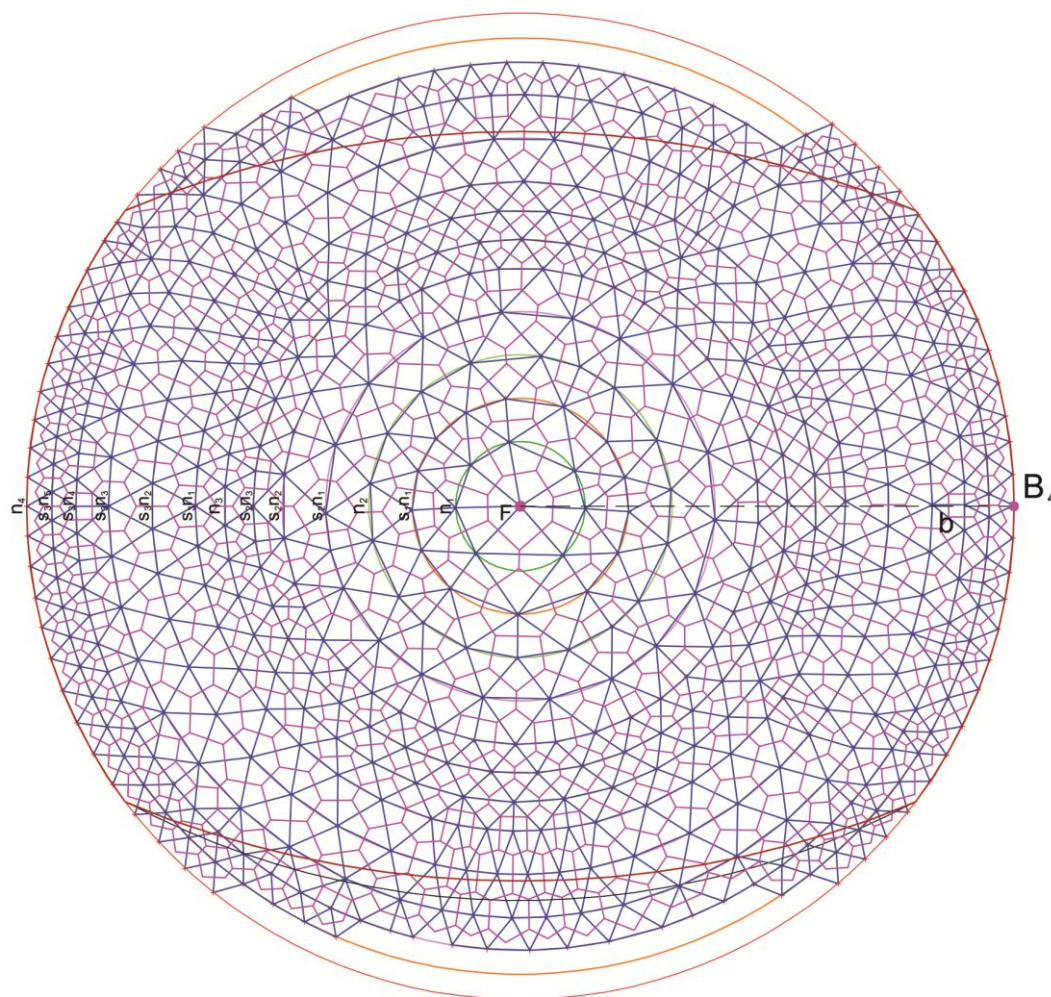


Fig. 373 – Geração dos elementos estruturais (diagramas de Voronoi).

A geração da forma inicial é realizada mediante a aplicação das regras RL1, RL2, RL3 e RL4. Os restantes elementos estruturais emergentes das propriedades geométricas da forma inicial são gerados mediante a aplicação das regras RL5, RL6, RL7, RL8, RL9, RL10, RL11, RL12 e RL13.

_ Retirar os elementos geométricos auxiliares à definição das formas estruturais

O processo de geração de polígonos estruturais, segundo os princípios dos diagramas de Voronoi, requer a existência de uma malha triangular auxiliar. Finda a definição das formas estruturais, esta deixa de apresentar qualquer tipo de utilidade, podendo ser retirada. Para tal, procede-se à exclusão dos elementos geométricos que a contemplam, nomeadamente os segmentos de reta que definem cada um dos lados dos triângulos, como também os pontos **X** que os delimitam. Neste processo de simplificação da base estrutural, são ainda retirados todos os níveis e subníveis de expansão, onde se referenciaram os pontos **X**, com exceção feita ao último nível de expansão (n_4) (fig. 374). Este processo de simplificação requer no exemplo em causa, a aplicação das regras RL17, RL18, RL19, RL20 e RL21 (consultar anexo 2, fase 3, ponto 3.4).

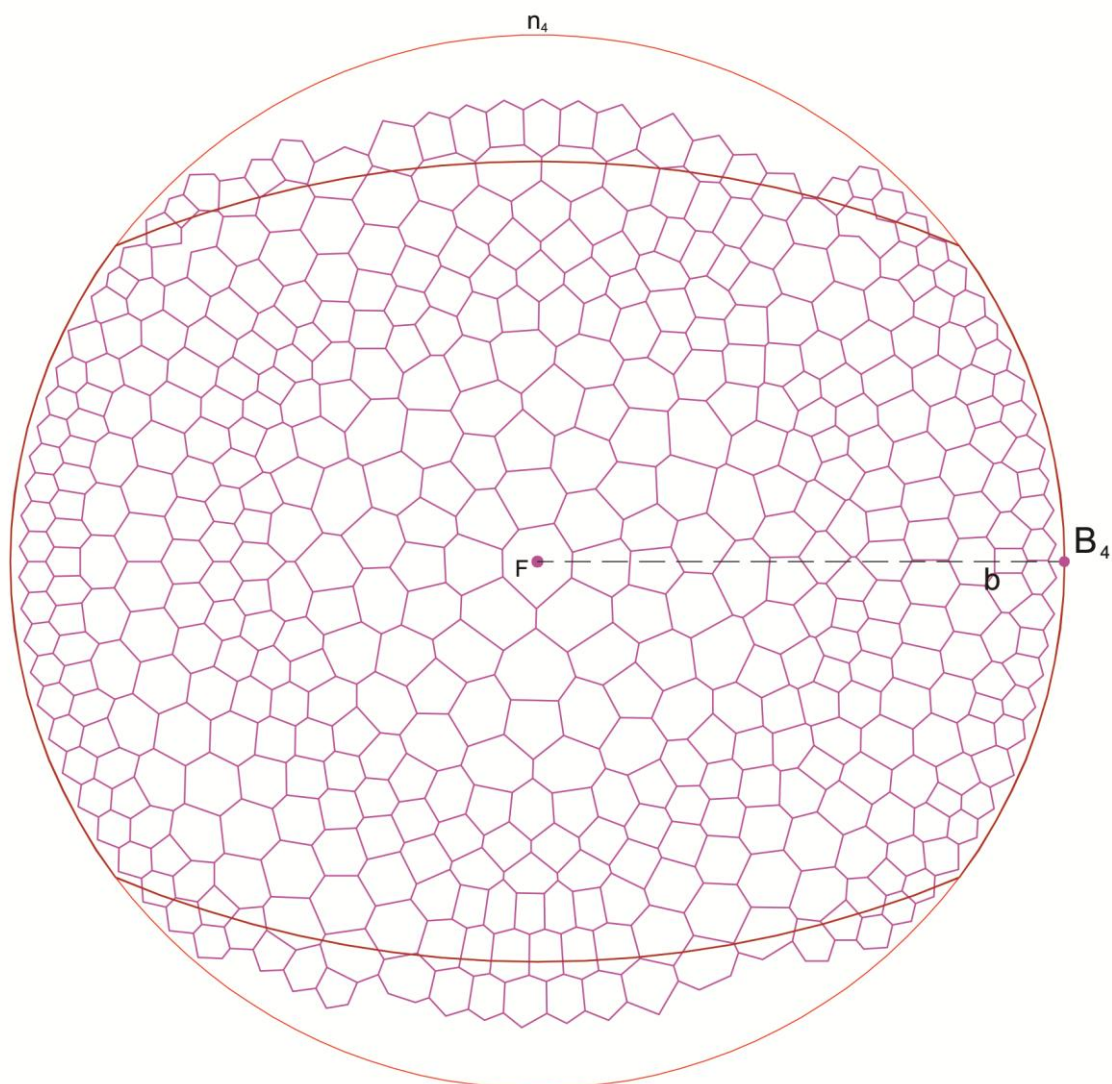


Fig. 374 – Corpo estrutural da composição após a exclusão dos elementos geométricos auxiliares à sua geração. Exclusão da malha triangular auxiliar à geração dos polígonos estruturais (RL17, RL18, RL19 e RL20) e exclusão dos níveis e subníveis de expansão (RL21).

Seleção das formas estruturais a incluir na composição geométrica

Para que o espaço delimitado pelas guias de controlo formal fique totalmente preenchido, alguns elementos estruturais foram gerados para lá dos seus limites. Como consequência, muitas das formas estruturais são intersetadas pelas guias de controlo formal. As regras RL22, RL25, RL26, RL27, RL28 e RL31 efetuam a seleção das formas estruturais intersetadas que se mantêm, ou se retiram da composição (fig. 375). Já as formas estruturais, situadas fora do espaço delimitado pelas guias de controlo formal, serão diretamente retiradas, sem passar pelo processo de seleção (consultar anexo 2, fase 3, ponto 3.5).

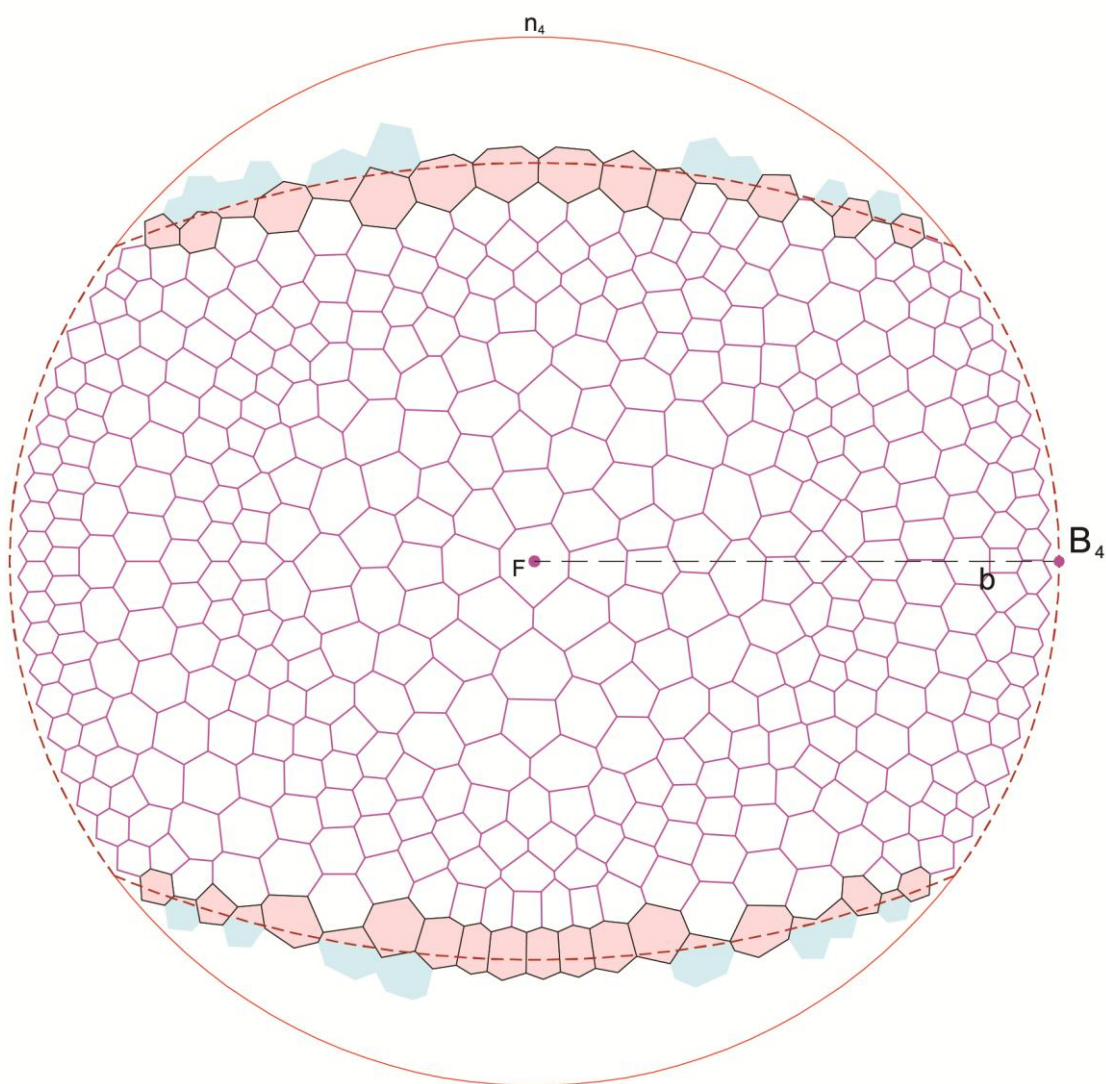


Fig. 375 – Resultado da seleção de formas a incluir na composição geométrica. Exclusão dos elementos a azul e manutenção das formas a rosa. Para tal procedimento, foram realizadas as seguintes operações: seleção e distinção das formas em contacto com a guia de controlo formal (RL22 e RL25), mudança de propriedade da guia de controlo formal de linha contínua para linha tracejada (RL26), exclusão dos segmentos de reta que constituem os polígonos situados fora da zona delimitada pela guia de controlo formal (RL27) e identificação dos elementos estruturais a excluir (RL28 e RL31).

– *Simplificação da composição geométrica*

Identificadas as formas da composição, procede-se à exclusão das formas estruturais excedentes face ao limite imposto pela guia de controlo formal. A sua exclusão é realizada mediante a regra RL33. Quanto às formas estruturais sobrepostas às guias de controlo formal, são reintroduzidas na composição geométrica através da aplicação da regra RL34. Finda a geração da composição, as guias de controlo formal podem ser retiradas (fig. 376). A sua exclusão é feita através da regra RL32. (consultar anexo 2, fase 3, ponto 3.6).

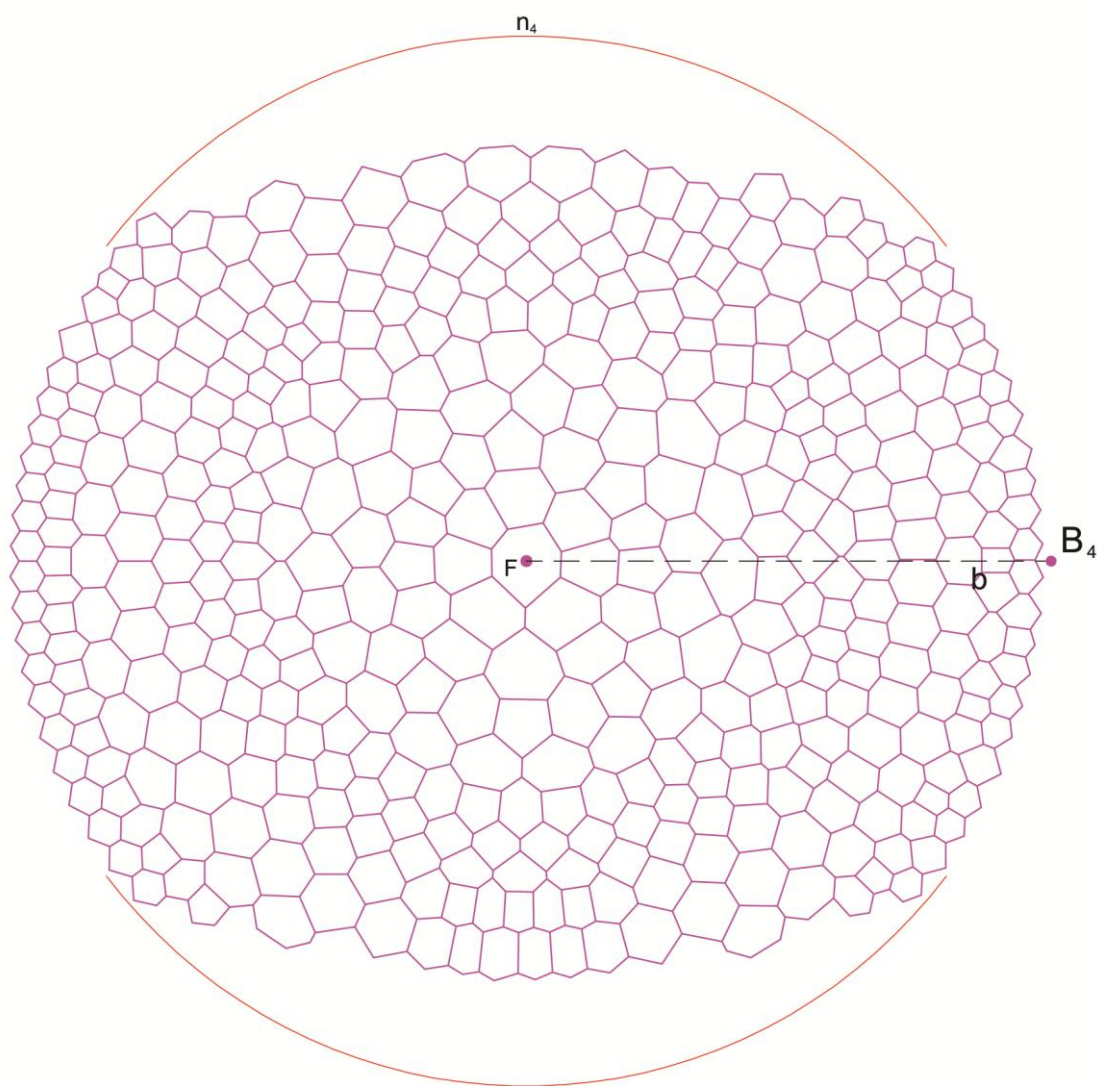


Fig. 376 – Visualização da composição geométrica após a exclusão das guias de controlo formal (RL32), das manchas de cor dos elementos estruturais limítrofes (RL33) e mudança das propriedades geométricas (cor) dos segmentos de reta que constituem os elementos estruturais (RL34).

Regras espaciais

_ Localização dos pontos

A transferência da composição bidimensional para uma superfície curva, requer pontos. Os pontos referenciais para a transposição dos segmentos de reta dos polígonos estruturais, são os pontos localizados nos vértices dos mesmos (fig. 377). A identificação destes é realizada através das regras RE1, RE2 e RE3 (consultar anexo 2, fase 4, ponto 4.1).

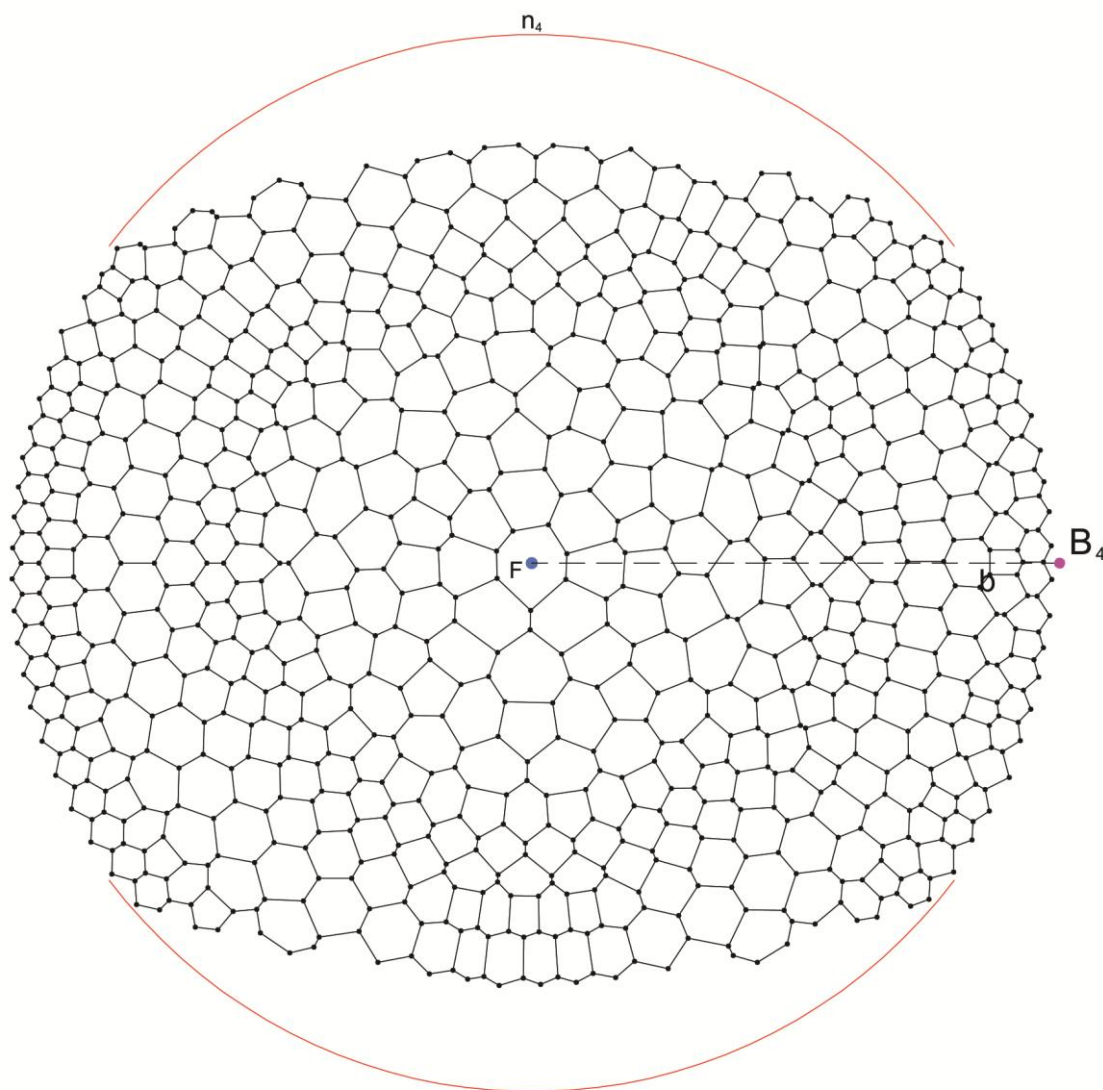


Fig. 377 – Identificação dos pontos correspondentes aos vértices dos polígonos estruturais.

_ Remarcação do nível de expansão máximo da composição geométrica.

Neste caso, a guia de controlo formal, teve a particularidade de conter dois arcos coincidentes com o último nível de expansão (ver fig. 375). Estes foram retirados após a

definição dos elementos estruturais da composição geométrica (ver fig. 376), deixando o último nível de expansão fracionado em dois arcos. Para repor a totalidade do perímetro da circunferência ao último nível de expansão, é aplicada a regra RE5 (fig. 378). (consultar anexo 2, fase 4, ponto 4.2).

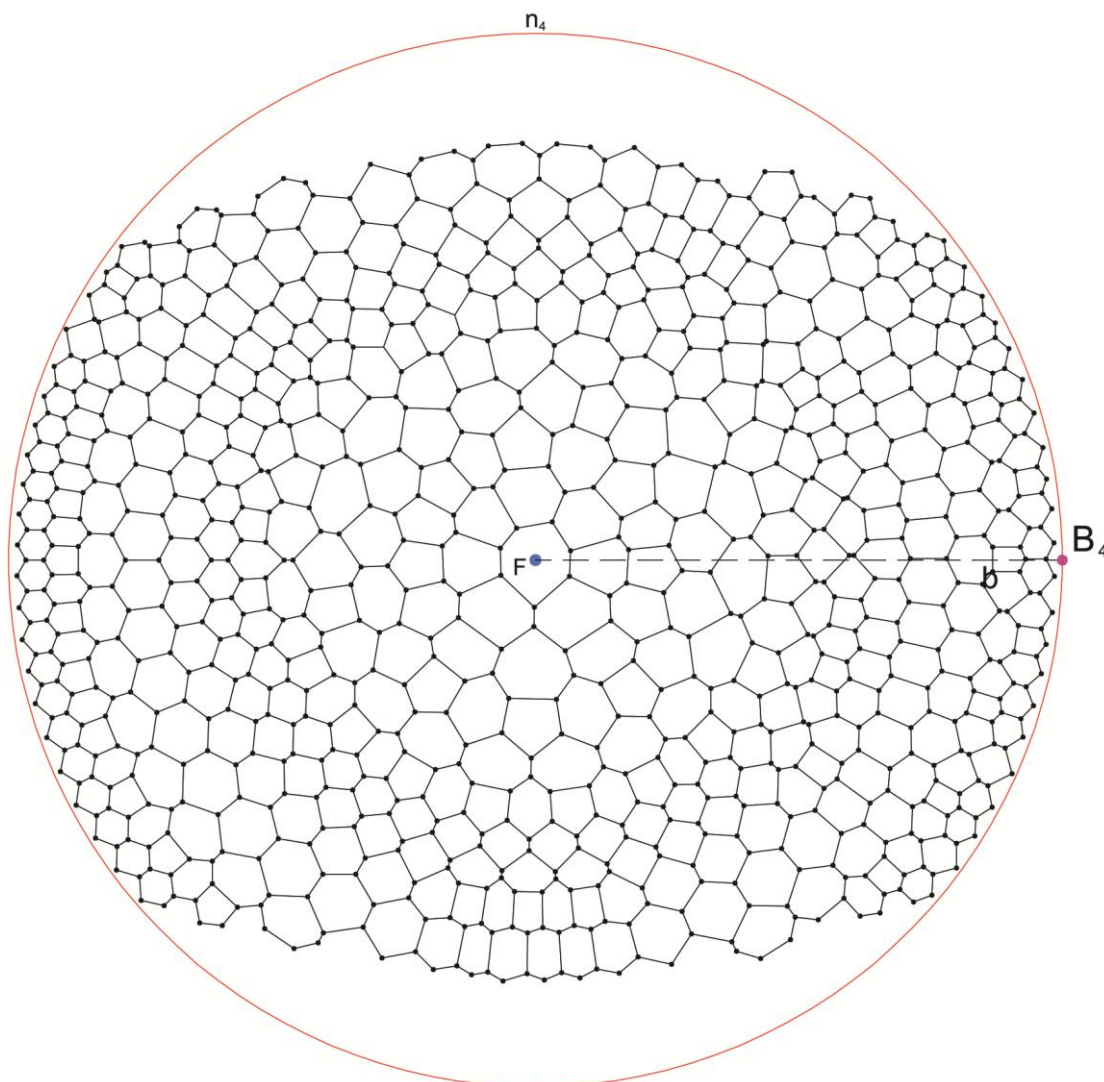


Fig. 378 - Reposição total do perímetro de circunferência correspondente ao último nível de expansão (n_4).

_ Referenciação dos pontos a linhas de raio do último nível de expansão

Identificados os pontos, à que referenciá-los no espaço circunscrito pelo último nível de expansão. A sua identificação passa por associar os pontos a linhas de raio do arco de circunferência e atribuir-lhes uma denominação “P”. A associação dos pontos às linhas de raio de n_4 pode ser realizada de duas maneiras distintas: ou pela identificação de um único ponto (RE7), ou pela identificação de dois pontos em simultâneo (RE8) (fig. 379). A identificação de

Figure 1 shows a schematic diagram of a 2D hexagonal lattice. A central point F is marked with a blue dot. A dashed line n_4 passes through F . A boundary point B_4 is marked with a red dot on the right edge of the lattice. Points P_1 through P_8 are marked on the lattice. Distances $r_{A1,1}$, $r_{A2,2}$, $r_{A4,5}$, and $r_{A6,7}$ are indicated. A parameter b is shown near B_4 .

Definição da superfície espacial

274

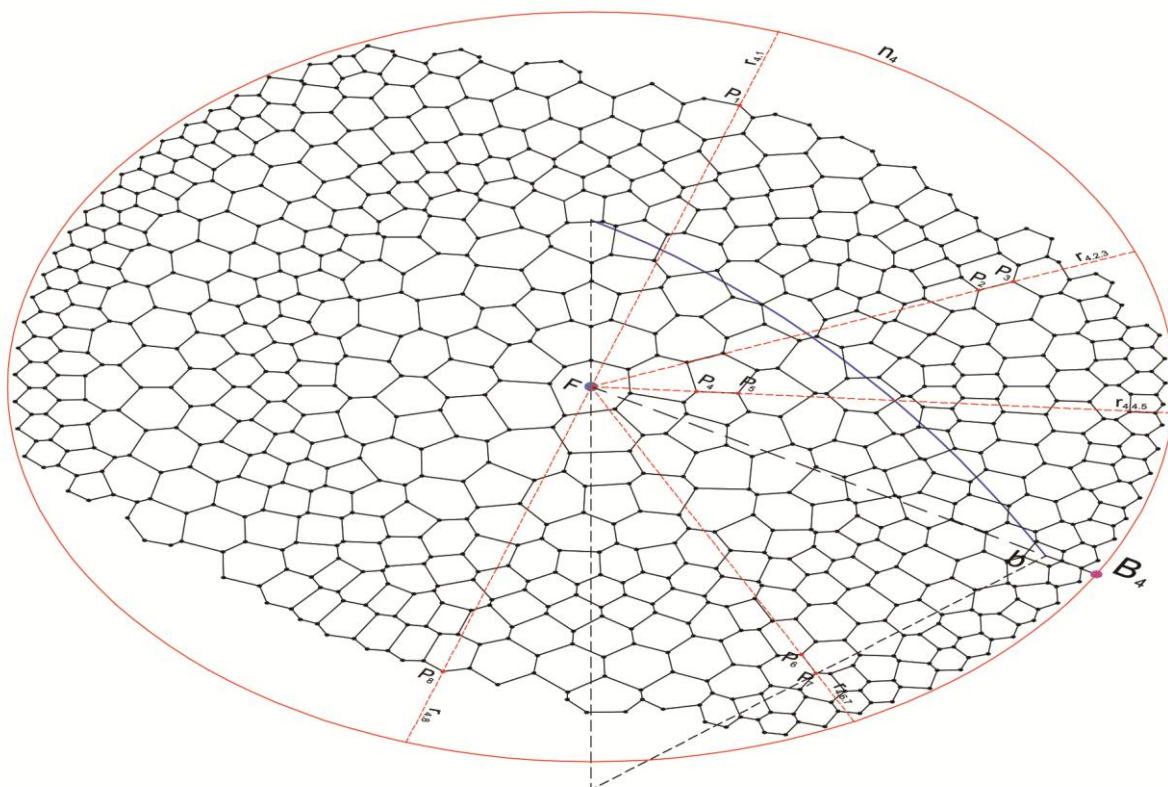


Fig. 380 – Definição da superfície esférica referencial ($\alpha=45^\circ$)

O posicionamento do arco é realizado num plano perpendicular à base estrutural que contenha o segmento de reta b. Uma das extremidades do arco é referenciado na linha de simetria do arco, que é posicionada sobre o ponto F. O outro extremo situa-se num ponto situado sobre o segmento de reta b.

– Transferência dos pontos do plano bidimensional para a superfície espacial

O processo de transferência de pontos pressupõe inicialmente a reprodução do arco referencial, definido na regra RE10, sobre cada linha de raio de n_4 que localiza cada ponto da composição geométrica (RE13 e RE14). Posto isto, a transferência de pontos para os arcos da superfície esférica, é realizada através de um processo de correspondência entre distâncias e ângulos. A distância a que cada ponto P se encontra do ponto F, tem a sua correspondência em ângulo dentro da amplitude do arco. Os pontos transferidos do plano da base estrutural, para os arcos referenciais da superfície são denominados por P'. Estes estão ligados por meio de um segmento de reta, ao ponto correspondente de denominação P situado no plano da base estrutural. A transposição dos pontos para o perímetro da superfície, pode elevar um ponto (RE17) ou dois pontos em simultâneo (RE18), dependendo da quantidade de pontos associados às linhas de raio de n_4 (consultar anexo 2, fase 4, ponto 4.5). Para facilitar a legibilidade, a representação gráfica do processo de transferência de pontos exemplificada na fig. 381, não contém referenciado a denominação dos pontos P e P'.

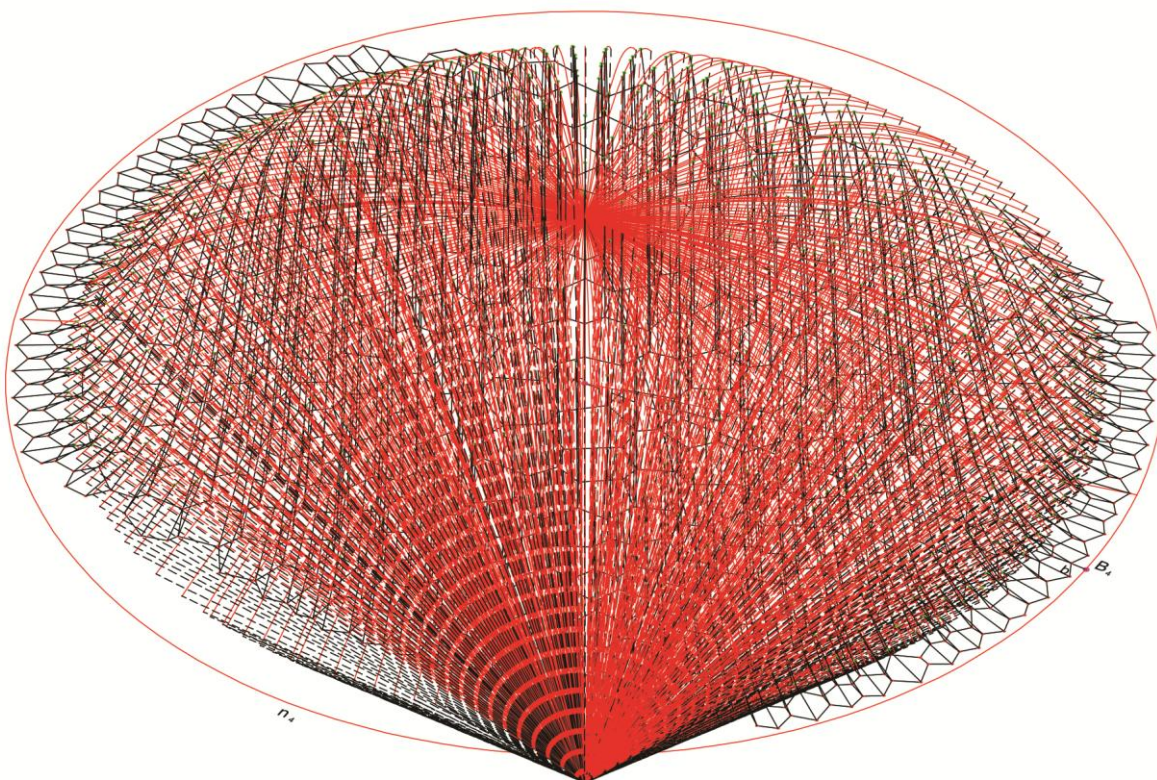


Fig. 381 – Transposição dos polígonos estruturais para a superfície.
 Duplicação do arco da superfície para as linhas de raio (RE13 e RE14) e transposição dos pontos do plano bidimensional, para o arco da superfície referencial (RE17 e RE18).

_ Definição da composição geométrica final _ simplificação

A definição da forma final pressupõe a transferência dos perímetros dos polígonos estruturais para os pontos correspondentes localizados sobre os arcos da superfície referencial, mas não só. (RE24). Contempla também, a exclusão de todos os elementos geométricos necessários à transferência dos referidos polígonos. Estes últimos englobam a exclusão do arco da superfície referencial situado sobre o segmento de reta b (RE20), dos arcos da superfície referencial onde estão localizados os pontos de denominação P'(RE22), das linhas de ângulo associados aos arcos referenciais (RE23), dos segmentos de reta que unem os pontos de denominação P a P', bem como a remoção destes mesmos pontos (RE25) e do arco de circunferência corresponde ao último nível de expansão (RE26) (fig. 382, 383 e 384) (consultar anexo 2, fase 4, ponto 4.6).

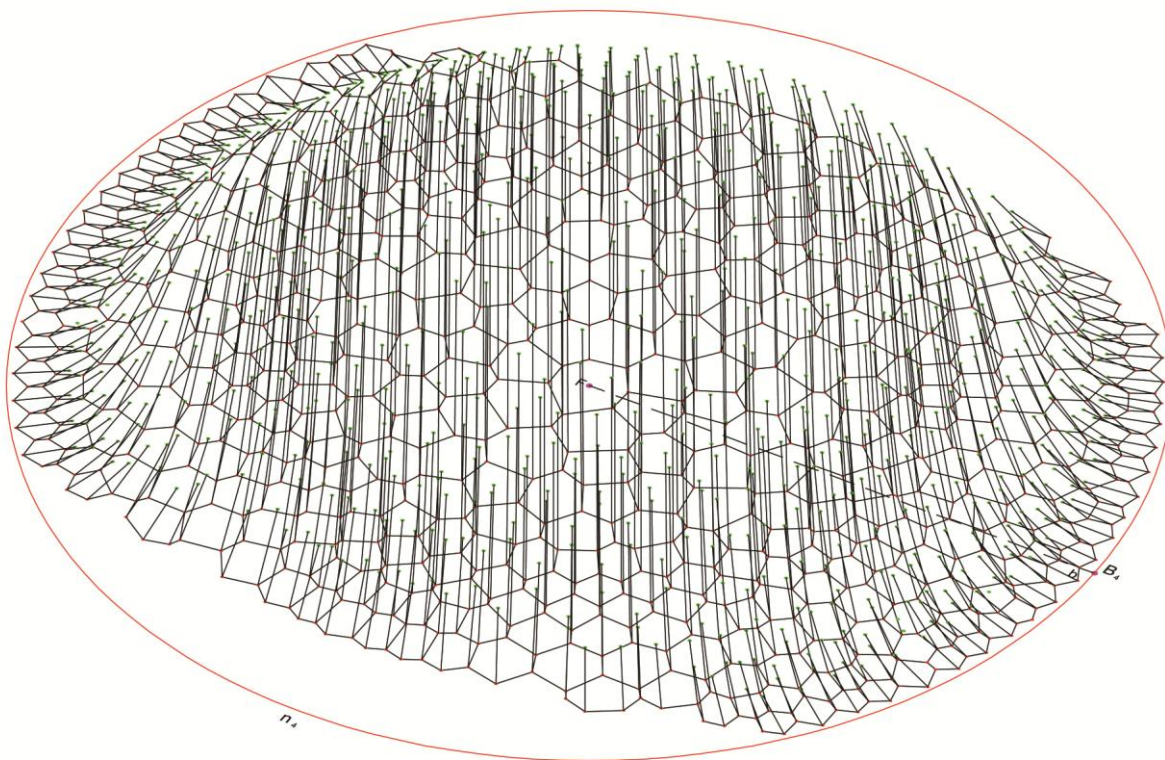


Fig. 382 - Simplificação do processo de transferência dos polígonos para a superfície _ exclusão dos arcos referenciais da superfície esférica e das linhas de ângulo (RE20, RE22 e RE23).

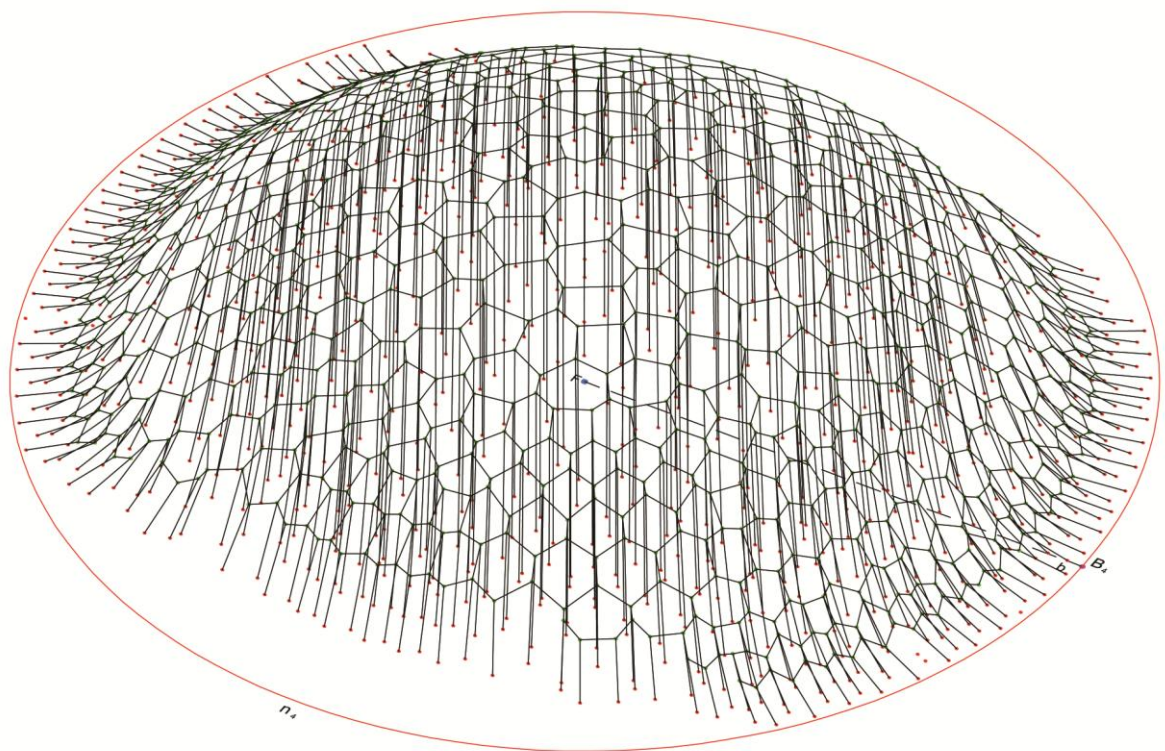


Fig. 383 - Simplificação do processo de transferência dos polígonos para a superfície _ transferência dos segmentos de reta do perímetro dos polígonos para a superfície referencial (RE24).

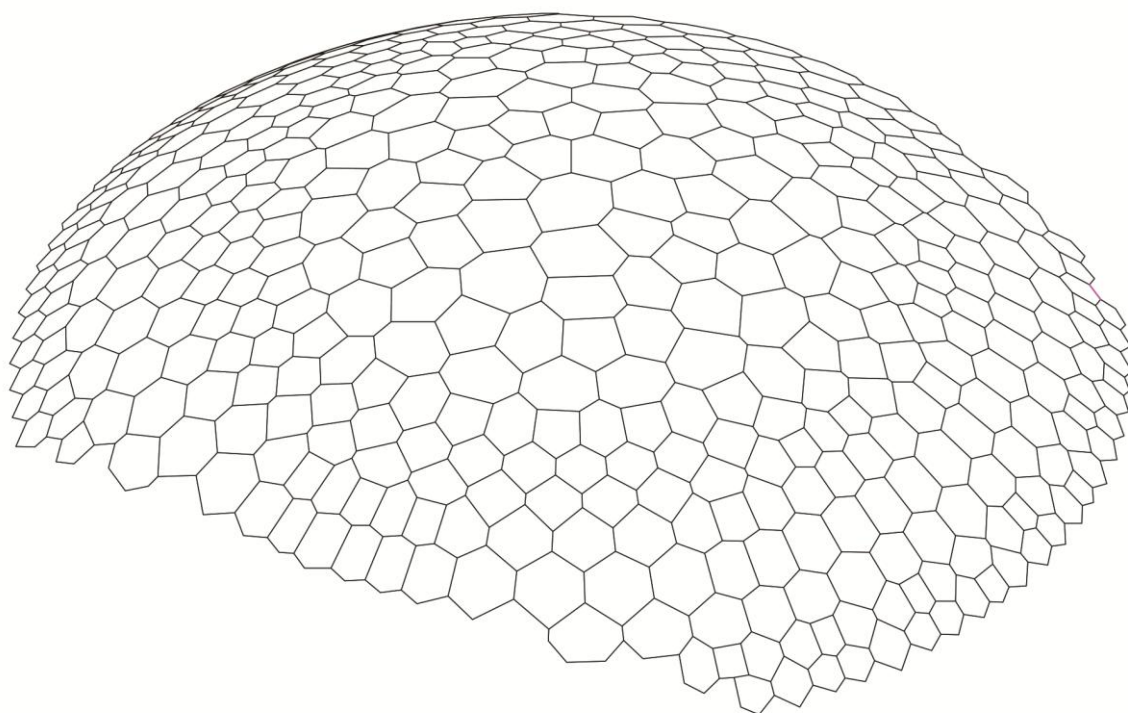


Fig. 384 - Simplificação do processo de transferência dos polígonos para a superfície _ definição da forma final com a exclusão dos pontos dos vértices dos polígonos situados na superfície e no plano bidimensional inicial (RE25). Exclusão do último nível de expansão da base estrutural (RE26).

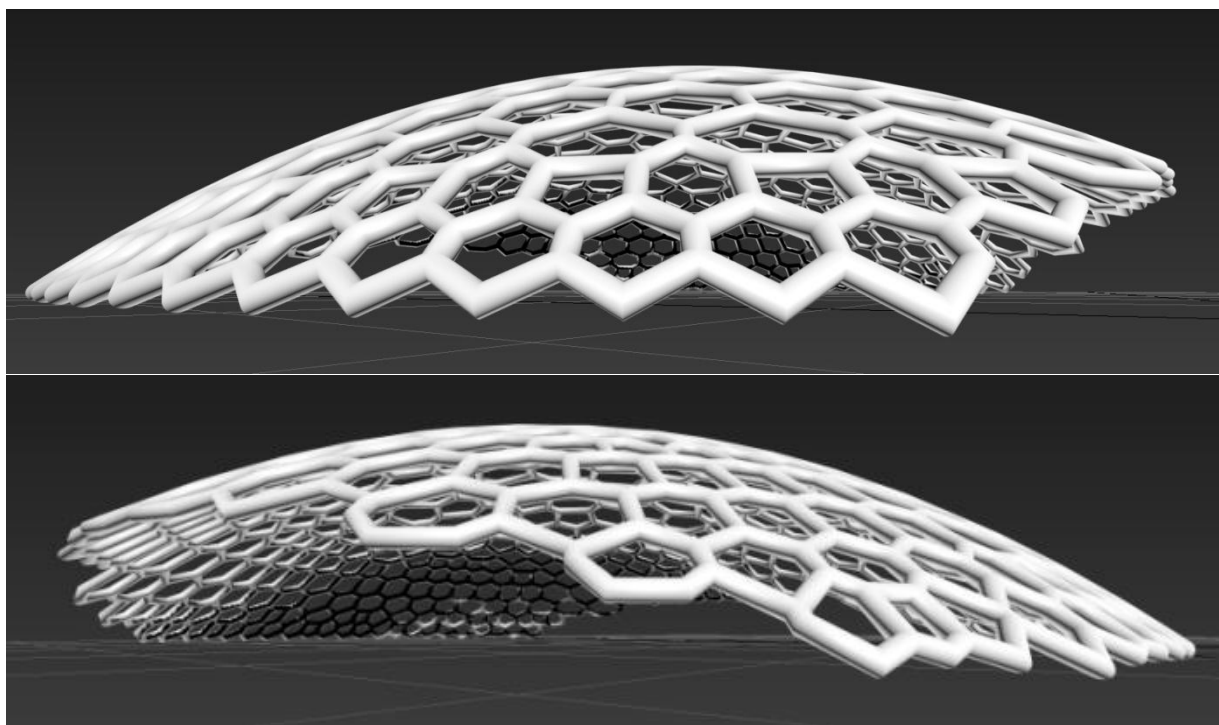


Fig. 385 – Visualização virtual do modelo. Perspetivas.

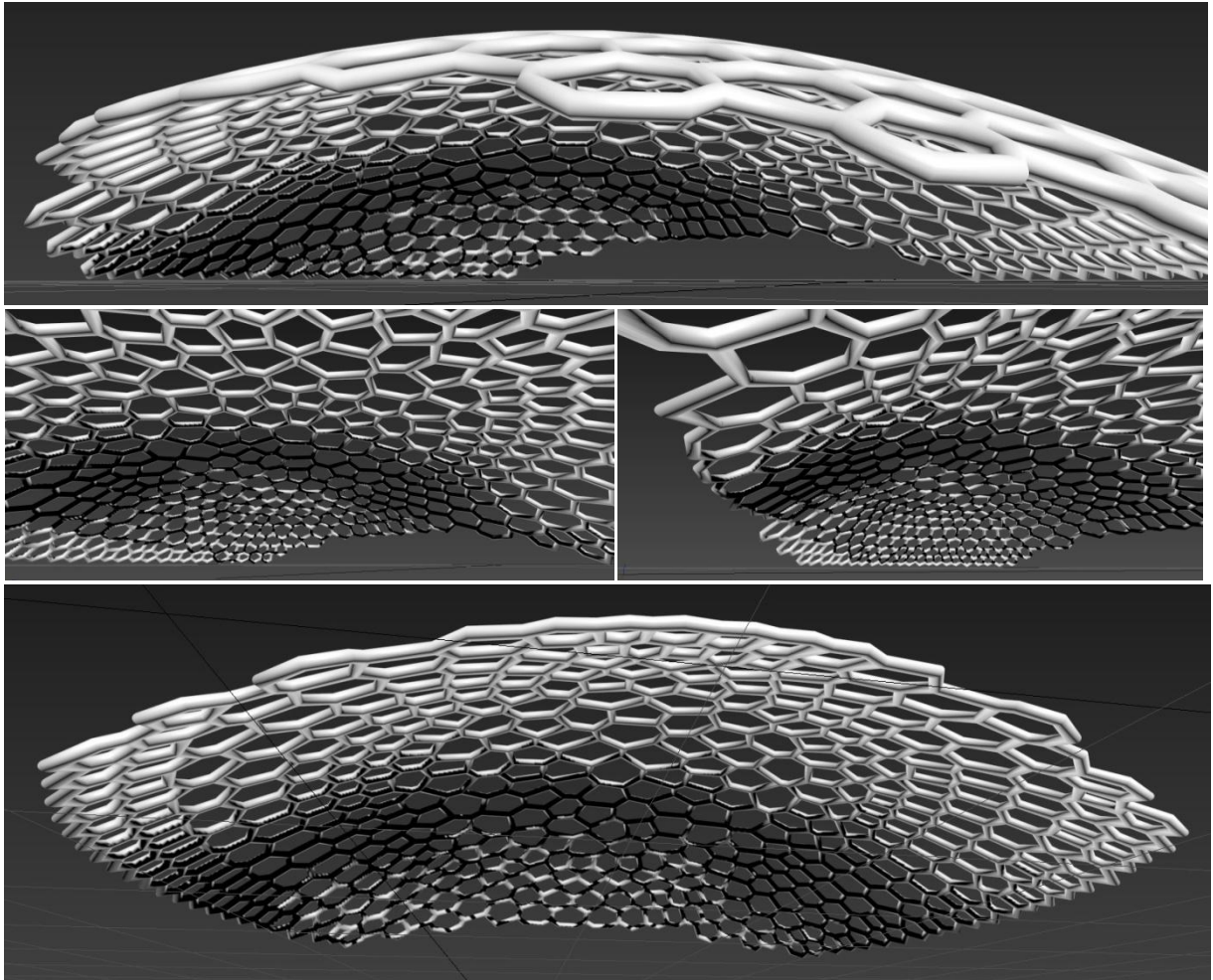


Fig. 386 – Visualização virtual do modelo. Perspetivas.

Para além do modelo exemplificado, foram também gerados com a ferramenta de desenho, outros modelos sobre superfície esférica (fig. 387). O processo simplificado de geração dos mesmos e respetiva visualização virtual pode ser consultado no anexo 3.

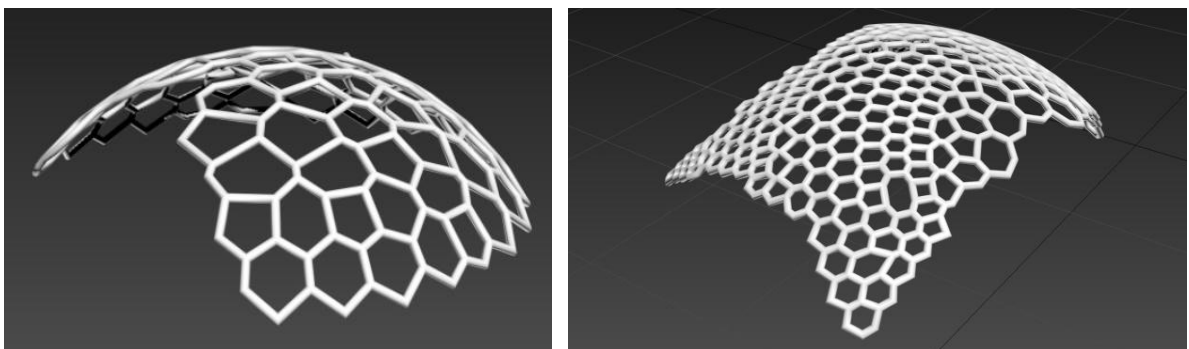


Fig. 387 – Exemplo de outro modelos referenciados numa superfície esférica.

4.3.3 VALIDAÇÃO DOS MODELOS FACE AOS OBJETIVOS PROPOSTOS

Foi definido como objetivo da ferramenta, gerar estruturas de caráter arquitetónico que revelem as seguintes qualidades: presença em simultâneo de todas as características definidas, multidiversidade de estruturas com a mesma identidade geométrica, geração de elementos estruturais por dependência e capacidade de integração na envolvente. Portanto, perante os modelos gerados, é perentório averiguar, se a mesma conseguiu incutir os objetivos a que se propôs.

Emergência das características geométricas nos modelos

Este ponto, tem como intuito verificar a presença das características geométricas do padrão ecológico nos modelos gerados pela ferramenta de desenho.

Começando pelo grupo de características vinculadas à alometria (ver fig. 388 e 389, coluna 1), é possível verificar que as composições detêm um vocabulário geométrico com o mesmo caráter morfológico, ou seja, são constituídas por elementos estruturais da mesma família de ângulos (polígonos). Quanto ao modo como são organizados, estes apresentam-se distribuídos mediante uma organização expansiva em onda. No que respeita às relações proporcionais entre as formas estruturais adjacentes, os modelos apresentam variações de proporção nas ordens de grandeza estabelecidas como harmoniosas. Portanto, estes respondem positivamente à presença das características geométricas associadas à alometria. O mesmo sucede com o grupo de características vinculadas à expansão estrutural (ver fig. 388 e 389, coluna 2). As composições possuem um centro gerador. São referenciadas e encaminhadas para um ponto específico da sua composição. A expansão das mesmas, é também realizada por níveis de expansão referenciados nesse mesmo centro. Quanto à repetição, foi já comprovado na alometria, que os modelos recorrem à repetição de elementos da mesma família. É agora comprovado, que esses mesmos elementos, detêm exclusividade espacial. Isto significa, que as formas estruturais não resultam, nem são partes de outras. Elas possuem as suas próprias regras. São claras, fazendo-se delimitar claramente através de um contraste de cheio / vazio, são irregulares, pois não refletem uma simetria bilateral exata e são dispostas de um modo simples, partilhando perímetros por sobreposição e não por intersecção. A presença destas qualidades, confere às composições geométricas uma aparência rugosa, tornando-as dinâmicas e vibrantes. No que se refere às características vinculadas à integração espacial (ver fig. 388 e 389, coluna 3), os modelos também respondem de modo positivo às mesmas. Estes detêm um perímetro irregular não repetitivo, onde a diversidade de soluções de contacto entre forma e envolvente, favorece o aumento de “atrito” entre as mesmas.

Resumindo, a ferramenta de desenho consegue transferir com sucesso para os modelos, as características geométricas identificadas na identidade morfológica das estruturas vivas (ver outros exemplos no anexo 3).

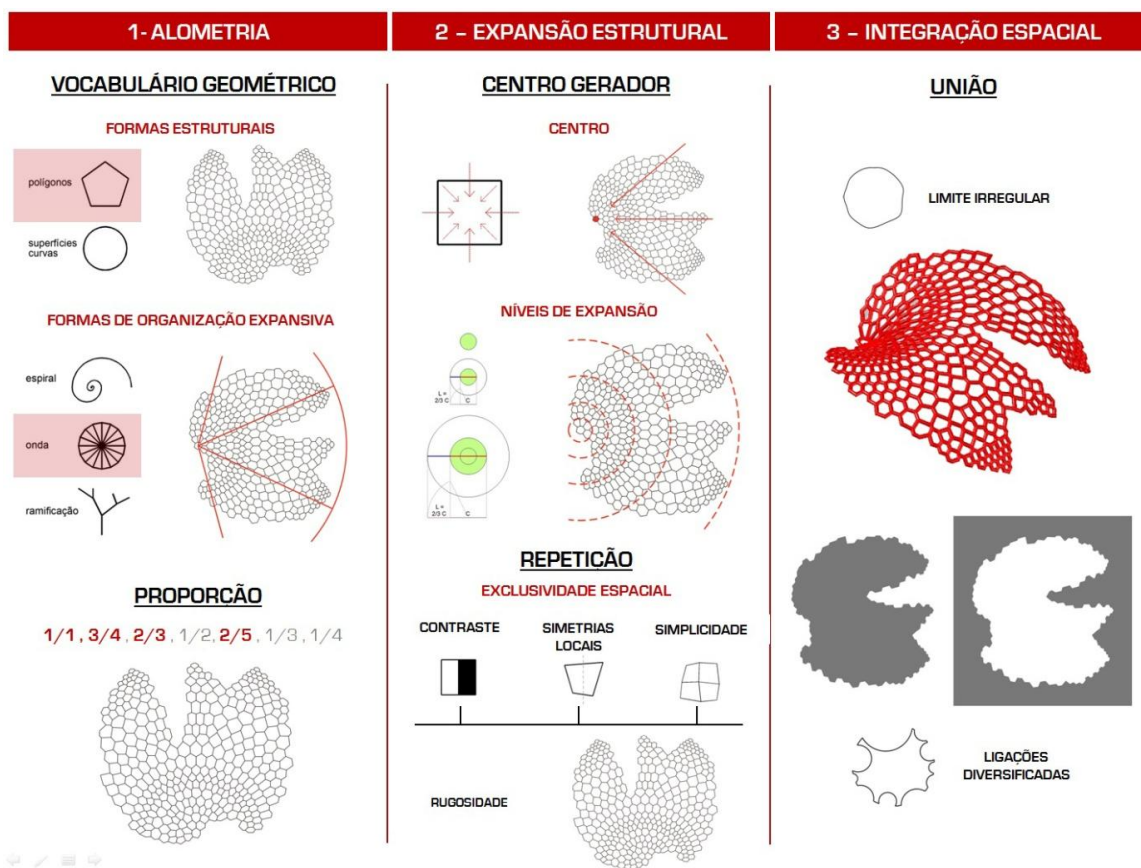


Fig. 388 – Esquema de validação do modelo referenciado na superfície do toro.

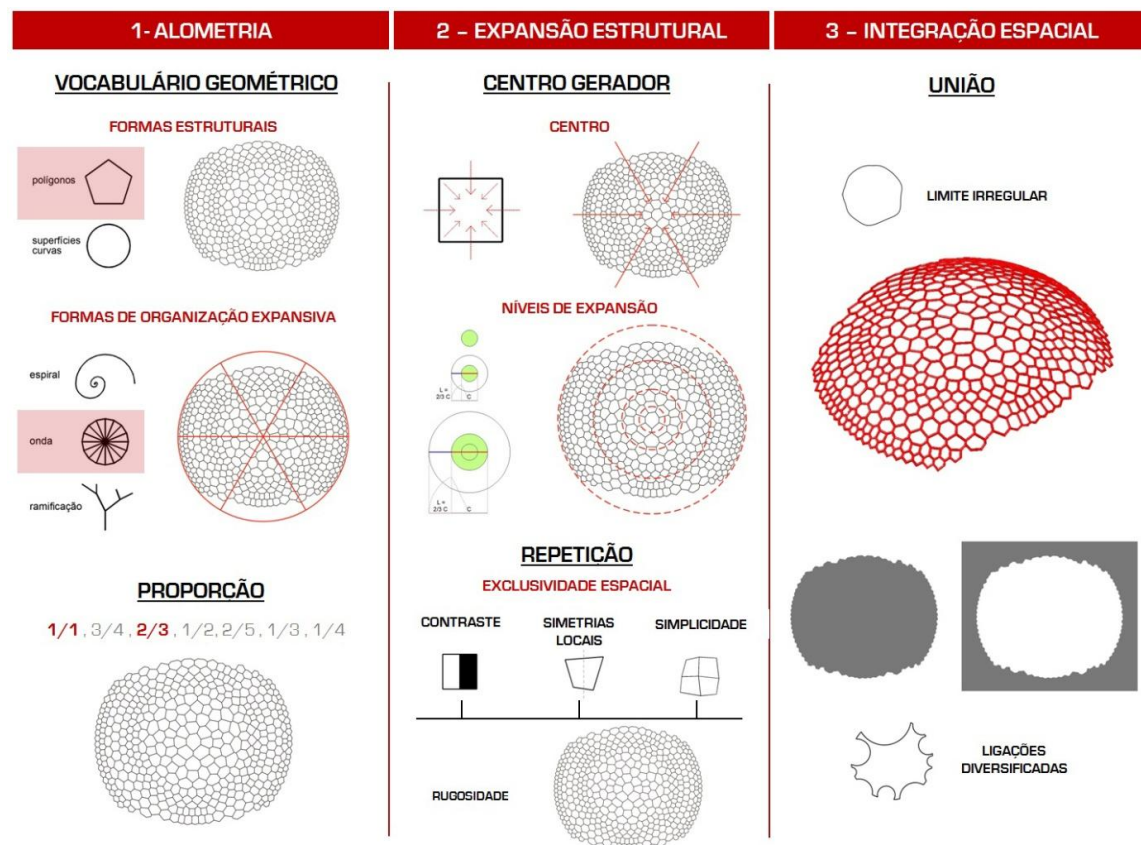


Fig. 389 – Esquema de validação do modelo referenciado na superfície esférica.

Multidiversidade formal com a mesma identidade geométrica

A ferramenta de desenho consegue incutir a mesma identidade geométrica num leque diversificado de formas (fig. 390). Este facto é demonstrado através dos esquemas de validação dos modelos, onde são confirmadas as características geométricas que transportam essa identidade (fig. 388, 389 e anexo 3).

A diversidade formal obtida demonstra que a geração de forma mediante um processo de desenho generativo consegue incutir qualidades geométricas biológicas à composição, sem que esta tenha que copiar uma solução formal de um organismo. Portanto, a forma arquitetónica, consegue separar-se da morfologia existente nas estruturas vivas, mas mantendo a essência geométrica das mesmas.

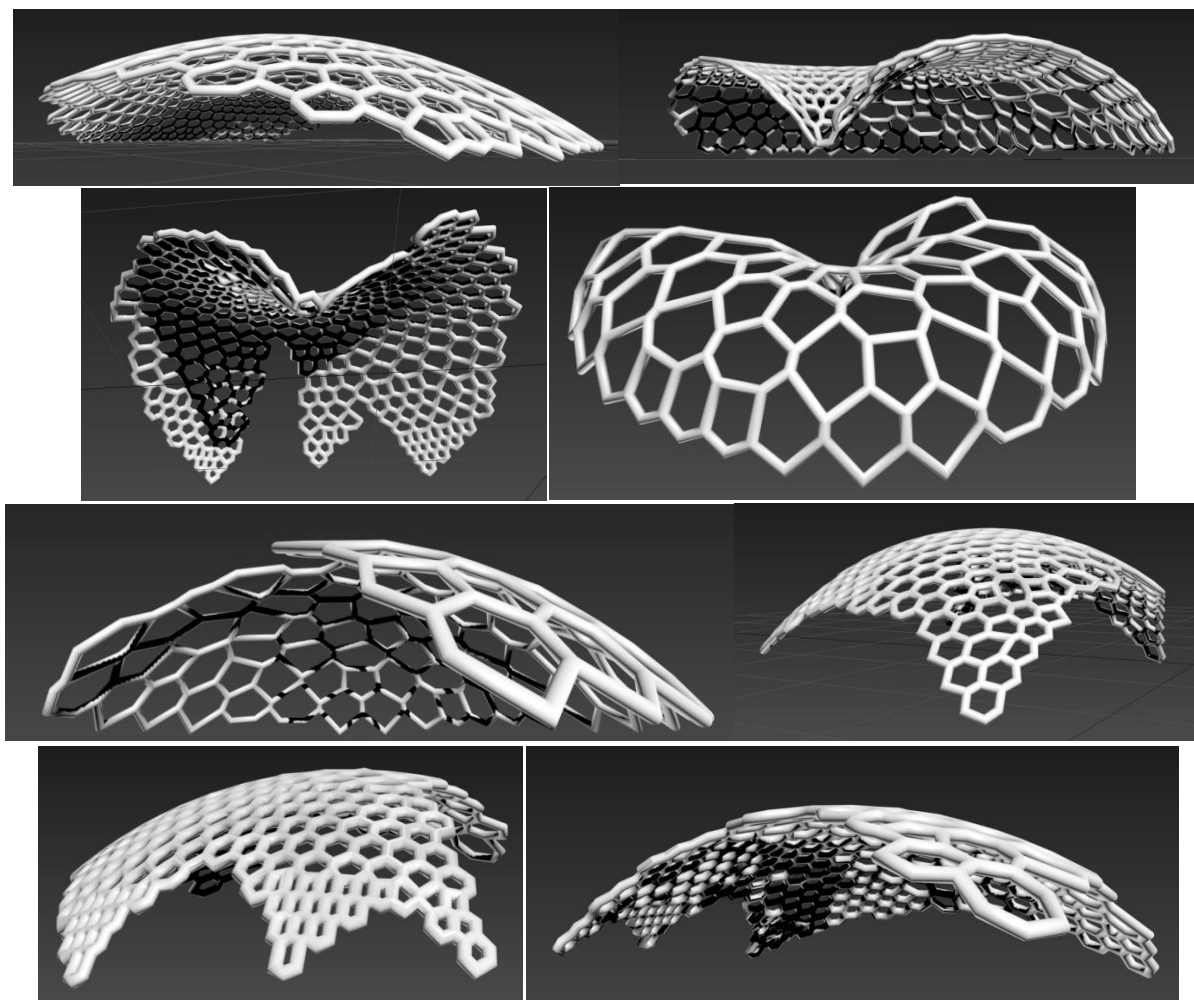


Fig. 390 – Exemplos da diversidade formal com a mesma identidade morfológica, gerada pela ferramenta de desenho.

Geração de elementos estruturais por dependência

Segundo Arnheim (1982), a dependência dos elementos estruturais pode ser averiguada, em termos geométricos, mediante o estado de equilíbrio da composição em que se inserem. Numa composição em equilíbrio, todas as partes trabalham para um propósito comum, ou seja, evidenciar um centro. Para tal, a cadência dos elementos tem que ser de tal modo objetiva em favor do todo, que este não deve permitir a troca posicional dos elementos, isto significa que os elementos estruturais devem possuir uma configuração única (fig. 391). Por consequência, a presença destas qualidades auferi às composições simplicidade estrutural (Alexander, 2001; Arnheim, 1982). A participação ativa de todas elas em favor de um propósito comum torna-as imprescindíveis à obtenção da configuração geométrica. Portanto, são estruturas que se caracterizam por conter apenas os elementos necessários à sua configuração. A sua substituição ou variação posicional resultaria numa outra forma distinta.

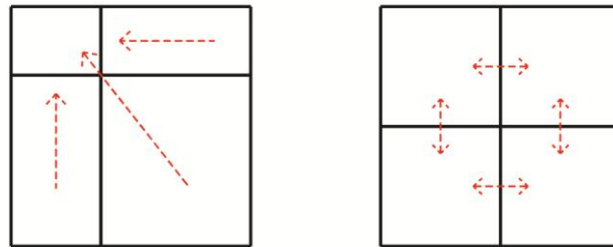


Fig. 391– Forma em equilíbrio (esq.) e forma em desequilíbrio (dir.).

Os modelos de caráter arquitetónico gerados pela ferramenta de desenho, denotam dependência estrutural. Todos os seus elementos são gerados tendo um propósito comum, evidenciar o centro (fig. 392). A irregularidade geométrica dos elementos incute-lhes uma identidade única, tornando o seu posicionamento insubstituível por outro da composição (fig. 393). Estas qualidades, incutem às composições simplicidade estrutural, pois estas apenas contêm os elementos estruturais necessários à sua configuração geométrica.

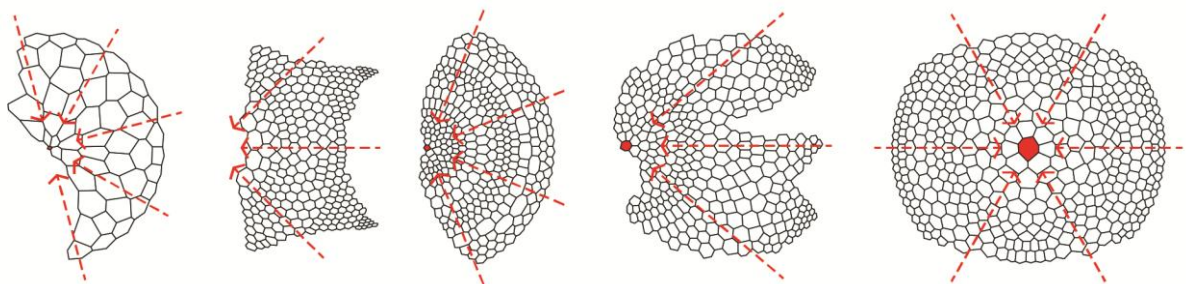


Fig. 392 – Dependência estrutural dos elementos em favor de um centro _ estruturas em equilíbrio

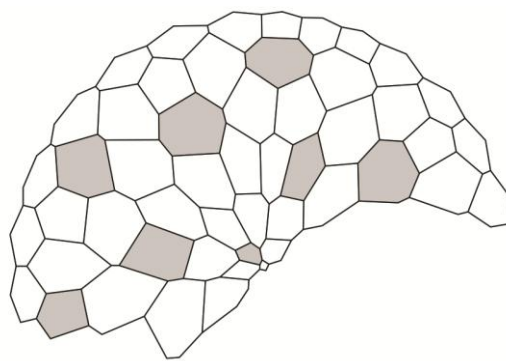
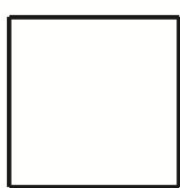


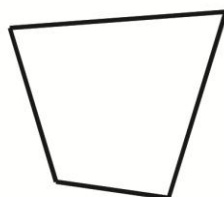
Fig. 393 – Unicidade geométrica dos elementos estruturais.

Capacidade de integração na envolvente

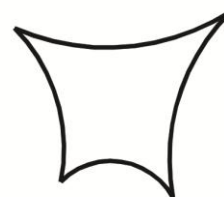
O fator que caracteriza uma espontânea capacidade de encaixe com a envolvente é a fluidez estrutural. Todas as estruturas vivas detêm esta particularidade. As suas formas fluem pela envolvente sem qualquer tipo de perturbação. Contudo, a sua emergência nas estruturas, requer um determinado conjunto de requisitos geométricos. Para gerar fluidez, é necessário que as formas criem tensão na envolvente, com o intuito de se evidenciar (Alexander, 2001). No entanto, a procura de destaque só é possível, se a forma atrair a envolvente até si. Para tal, as estruturas vivas, recorrem a formas concavas e convexas, pois estas geram espontaneamente forças de atração (Arnheim, 1982, 1988) (fig. 394 e 395).



A



B



C

Fig. 394 – Criação de tensão a partir da configuração geométrica das formas.

(A) – a forma exata opõe-se à envolvente sem gerar tensão no espaço. Não existem forças a querer entrar ou sair da forma. (B) - Uma forma irregular de perfil perimetral reto, já cria alguma perturbação no espaço, pelo facto de apresentar diferentes soluções de contacto com a mesma. No entanto, também não fomenta a troca de forças entre forma e envolvente. (C) – Já numa forma irregular de perfil curvilíneo, a sua configuração causa perturbação na envolvente. As superfícies curvas atraem a envolvente até si, auferindo-lhe destaque.

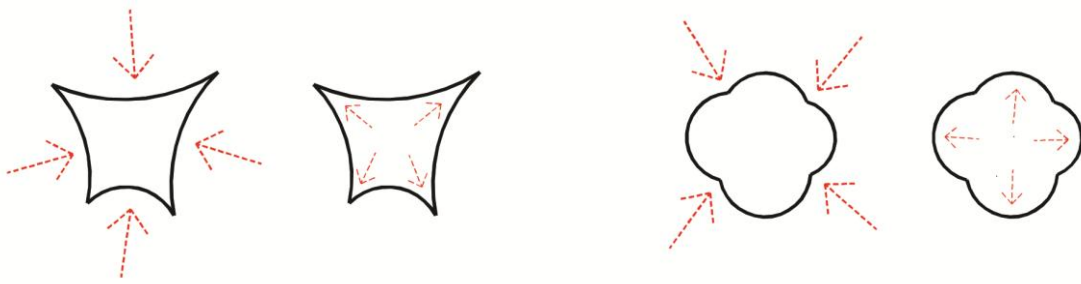


Fig. 395 – As superfícies curvas geram tensão por oposição. Por um lado atraem a envolvente para a forma e por outro, invadem a envolvente a partir do seu interior.

Contudo, o aumento do “atrito” na envolvente por meio de superfícies curvas, ainda não é suficiente para fazer emergir a fluidez estrutural. Esta qualidade, necessita ainda que as forças de atração que são captadas da envolvente, se façam sentir no interior da forma. Para tal, a composição tem que se organizar mediante uma cadência contínua de elementos irregulares em gradação progressiva. Esta disposição puxa e encaminha as forças para o seu interior (fig. 396 - A). No entanto, estas forças devem ser anuladas no interior da forma. O propósito desta anulação é fixar uma origem, ou seja, um posicionamento claro da forma na envolvente. Para equilibrar a troca de forças, as estruturas expandem-se em sentido oposto. Isto significa, que estas ao mesmo tempo que se deixam invadir, também lançam ondas invasivas na envolvente (fig. 396 - B). Portanto, é neste jogo de troca de forças invasivas que se fundamenta a fluidez. É com ela que as estruturas vivas ganham a sua espontaneidade de encaixe, pois as formas deixam de ser interpretadas como barreiras físicas, para serem interpretadas como entidades de transferência de forças.

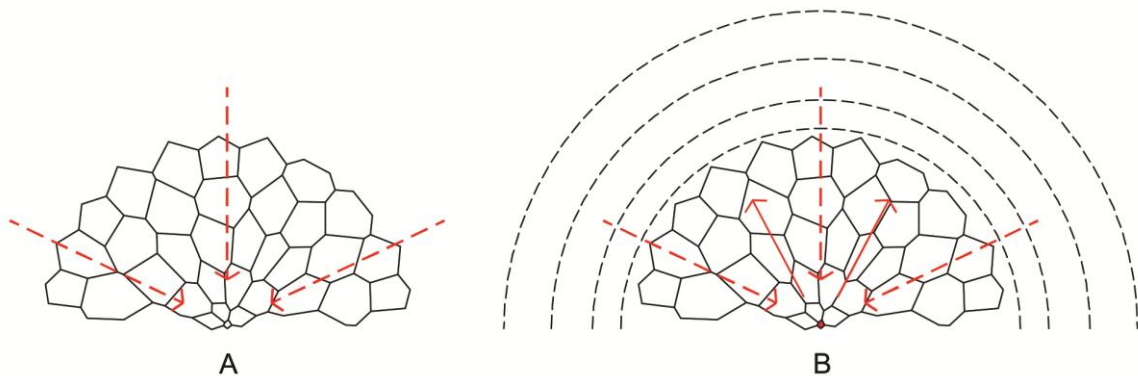


Fig. 396 – Transferência de forças.
 (A) – Transferência de forças da envolvente para a forma, por meio de uma gradação progressiva de elementos. Anulação das mesmas num ponto interior da forma.
 (B) – Equilíbrio das forças recebidas da envolvente, mediante soluções de propagação e invasão formal em sentido oposto.

_ Validação das qualidades inerentes à capacidade de integração nos modelos gerados pela ferramenta de desenho.

Os modelos gerados pela ferramenta detêm fluidez estrutural. As configurações geométricas dos mesmos são compostos por superfícies concavas e convexas (fig. 397 - A). A sua organização detém elementos irregulares dispostos em cadência mediante uma hierarquia progressiva (fig. 397 - B). Estes deixam-se percorrer pela envolvente e anulam a sua presença no seu interior (fig. 397 - C). Portanto, estes modelos conseguem transferir ao longo da sua composição, as forças externas e internas de um modo fluído e sem perturbações. Assim sendo, os modelos possuem, em termos geométricos, qualidades que potenciam a capacidade de encaixe das formas na envolvente.

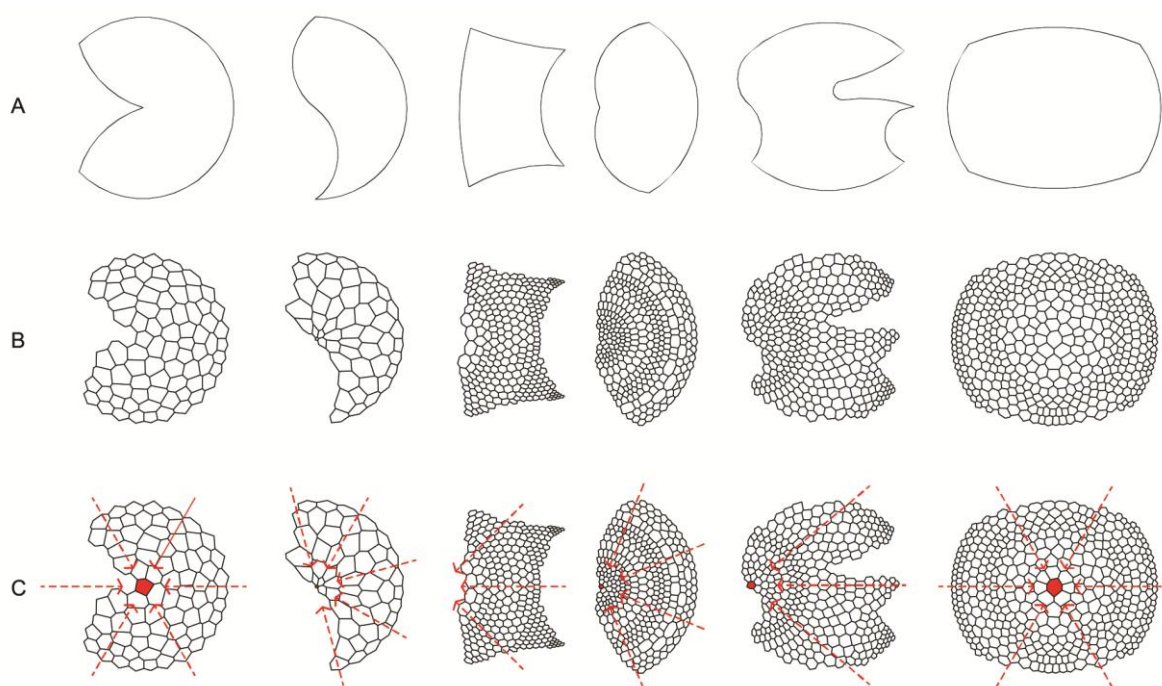


Fig. 397 – Qualidades inerentes à fluidez estrutural.

(A) – superfícies concava e convexas. (B) – Disposição dos elementos estruturais mediante uma gradação progressiva em prole de um centro. (C) – Transferência de força da envolvente para o interior das formas e vice-versa.

4.4 CONTEXTUALIZAÇÃO DOS MODELOS NO INTUITO ECOLÓGICO

A fundamentação desta investigação teve como base referencial as estruturas vivas biológicas. Destas, identificaram-se um conjunto de características geométricas da sua identidade morfológica, bem como o mecanismo associado à emergência das mesmas, o crescimento. Mediante esta informação, desenvolveu-se uma ferramenta de desenho, de

essência geométrica, capaz de as fazer despontar, em simultâneo, numa estrutura humana de carácter arquitetónico. Chegando a este ponto de conceção (fig. 398) e detendo esta investigação o intuito contributivo para a definição de um padrão ecológico, é perentório avaliar se as mesmas preenchem, em termos de essência geométrica, os requisitos biológicos para a sua integração no padrão.

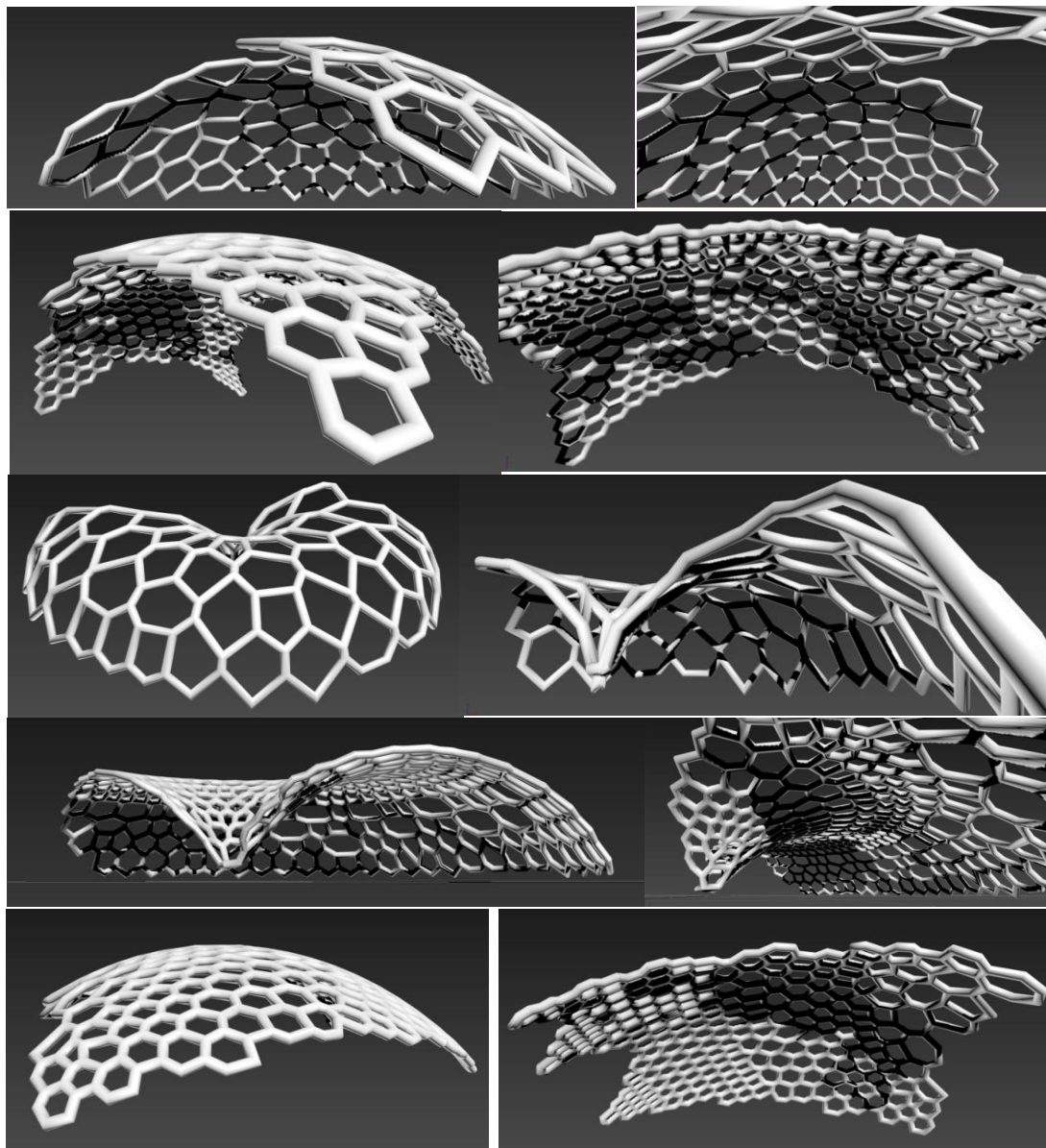


Fig. 398 – Exemplos de modelos gerados pela ferramenta de desenho construída pela investigação.

4.4.1 Requisitos biológicos

Pourjafar (2011) desenvolveu um trabalho de caracterização da qualidade biológica na arquitetura em termos morfológicos. A razão da sua investigação tem em causa a necessidade de se identificar a intencionalidade biológica, de estruturas geradas por processos de desenho

que não recorram à cópia formal de organismos. Portanto, para avaliar o propósito biológico de uma estrutura humana arquitetônica, o autor requer que estas evidenciem um conjunto de requisitos em três distintas áreas: material, geométrica e organização estrutural. Para testar a qualidade biológica auferida pelas pertinências geométricas desta investigação, os modelos gerados pela mesma, vão ser confrontados com os requisitos exigidos por Pourjafar. A análise irá mencionar individualmente esses requisitos, o seu propósito e a sua comprovação nos modelos.

Requisitos materiais:

1 - **seleção de materiais:** As estruturas vivas alcançam a melhor forma estrutural com a menor quantidade de materiais.

Análise aos modelos: A investigação realizada, apenas incidiu na geração de estruturas de essência geométrica. Portanto, não contemplou a materialidade das mesmas. Contudo, tal facto não invalida que se possa realizar uma análise prévia a nível da sua materialidade. A composição dos modelos resultam da repetição de elementos com o mesmo carácter morfológico, dispostos em continuidade. Portanto, tal padrão geométrico requer o uso do mesmo tipo de solução construtiva, o que evidencia a possibilidade de poder ser totalmente concebida mediante a mesma solução material (fig. 399).

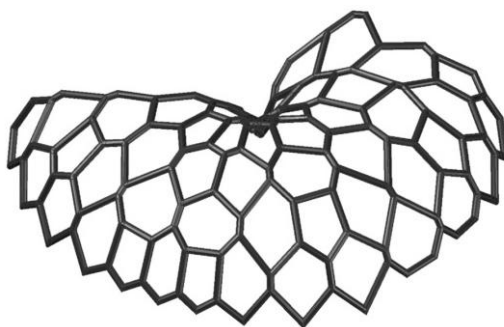


Fig. 399 – Padrão morfológico.

Apesar da irregularidade dos elementos, as suas soluções estruturais recorrem sempre ao mesmo tipo de solução, facultando assim, o recurso à mesma solução material.

2 - **Reutilização:** Na natureza nada desaparece, apenas muda de forma. Portanto, todos os elementos em uso numa estrutura terão que ser fonte material de outros modelos (reciclagem).

Análise aos modelos: Como já referido, a investigação não desenvolveu nenhum tipo de trabalho fora do propósito geométrico estipulado. Daí não conter referência a qualquer tipo

de material. No entanto, e como já também explicado, o tipo de composição geométrica potencia um uso bastante reduzido de materiais. Denotando estas configurações geométricas, uma funcionalidade estrutural, estas podem ser perfeitamente materializadas com produtos recicláveis, como são o caso dos metais, dos plásticos e das madeiras (fig. 413).

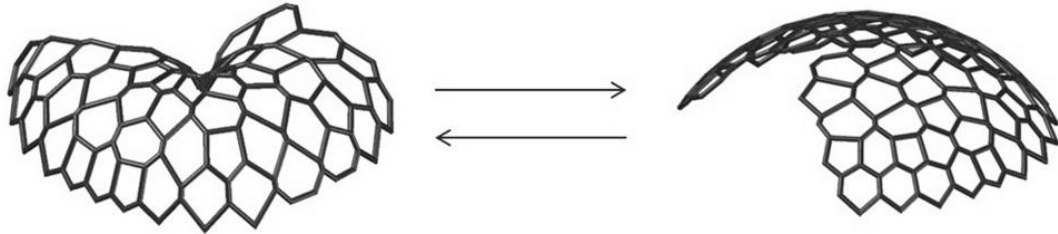


Fig. 413 – Reciclagem e reutilização material.

A matéria utilizada por uma estrutura pode ser reutilizada para dar corpo a outra estrutura distinta.

– Requisitos geométricos:

1 - **escolha dos elementos geométricos:** Uso de formas de derivação triangular. Predominância pela forma hexagonal.

Análise aos modelos: Os elementos estruturais dos modelos são de derivação triangular. Este facto é comprovado mediante a sua geração através dos princípios de fragmentação espacial dos diagramas de Voronoi. Esta ferramenta de desenho recorre ao sistema de triangulação de Delaunay, utilizando-o como base estruturante oculta na geração dos elementos. A aplicação deste sistema na geração das estruturas definiu um padrão geométrico constituído por formas poligonais, com maior predominância para as formas pentagonais e hexagonais (Fig. 400).

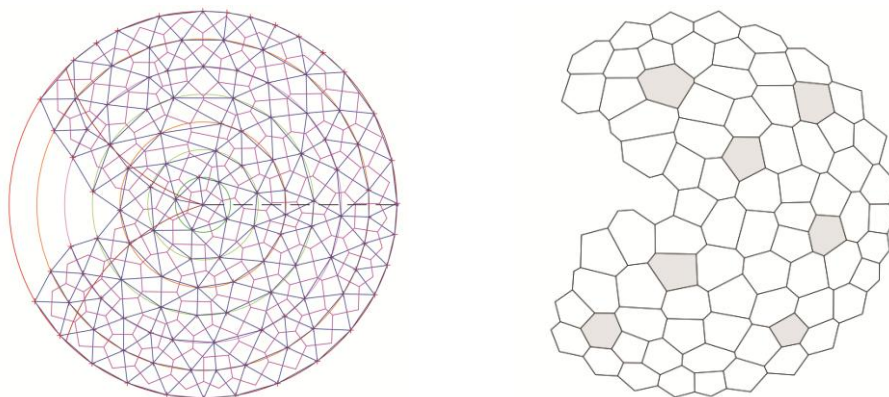


Fig. 400 – Vocabulário geométrico.

Os elementos estruturais que compõem as formas detêm derivação triangular (esq.). Todas os elementos gerados são poligonais, com forte predomínio pelo pentágono e pelo hexágono (dir.).

2 - **hierarquia**: A organização hierárquica dos elementos por variação proporcional permite a transferência de forças de modo progressivo ao longo da composição.

Análise aos modelos: Os elementos estruturais dos modelos são dispostos de forma hierárquica, gerando cadências progressivas da periferia para o centro das composições. Este facto propicia a emergência de campos de forças, que convida a estrutura a ser percorrida e interpretada sem qualquer tipo de perturbação (fig. 401).

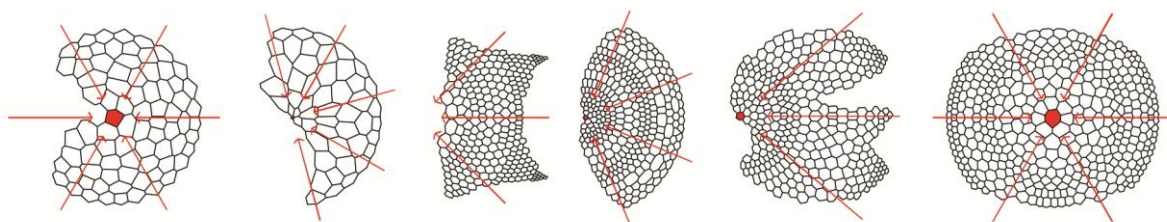


Fig. 401 – Fluidez estrutural.

Transferência de forças da periferia para o centro, por cadência hierárquica dos elementos.

3 - **contiguidade dos elementos**: Os elementos são complementares. A sua dependência requer ordenação por compactação.

Análise aos modelos: Os elementos estruturais das composições geométricas são gerados por dependência. O processo de desenho demonstra que a geração dos elementos advém sempre da configuração geométrica das formas que lhe antecedem e envolvem. Estes são organizados em continuidade, através da sobreposição dos seus limites. Portanto, detêm uma organização por compactação (fig. 402).

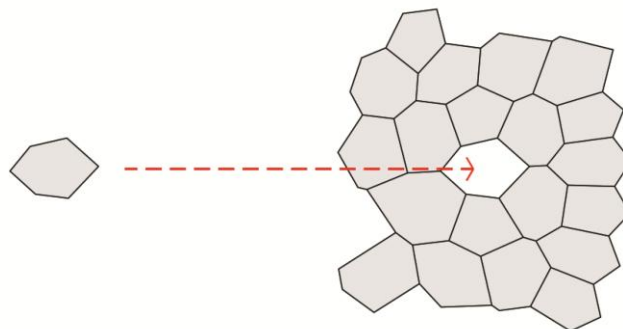


Fig. 402 – Exclusividade espacial

As irregularidades únicas de cada elemento estrutural torna-os insubstituíveis dentro das composições.

4 - **unidade e solidez das partes**: elementos individuais geram unidades coesas.

Análise aos modelos: As estruturas não denotam qualquer tipo de perturbação, quer em termos de desfragmentação da unidade, quer por incompatibilidade dos elementos que a constituem. Estas são constituídas por elementos individuais, articulados entre si. As pequenas variações proporcionais entre elementos, a sua articulação mediante distintas direcionalidades e a preponderância do mesmo carácter morfológico, dão unicidade ao conjunto, o que se reflete em solidez estrutural (fig. 403).

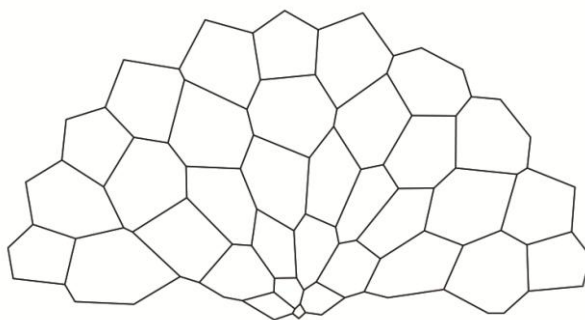


Fig. 403 – Coesão estrutural.

A conjugação de elementos individuais mediante um padrão contínuo não exato, reforça a agregação dos elementos individuais em unidades sólidas.

5 - **uso de estruturas combinadas**: uso de diferentes densidades estruturais numa mesma composição.

Análise aos modelos: As malhas estruturais dos modelos gerados denotam distintas densidades estruturais em dependência, quer por gradação progressiva, quer por oscilação. (fig. 404).

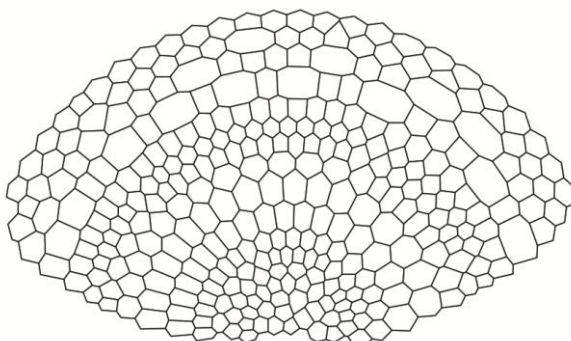


Fig. 404 – Variação estrutural

As malhas estruturais apresentam cadências de proporção progressiva, conferindo-lhes diferentes densidades ao longo da composição estrutural.

6 - **eixos orientadores**: as estruturas detêm dois graus de simetria. Um ao nível da forma geral e outro, ao nível dos elementos estruturais.

Análise dos modelos: As composições geométricas geradas pela ferramenta de desenho detêm dois graus de simetria. Os elementos estruturais de cada composição denotam simetria bilateral, enquanto que a unidade por elas gerada, denota uma organização estrutural por simetria bilateral (fig. 405).

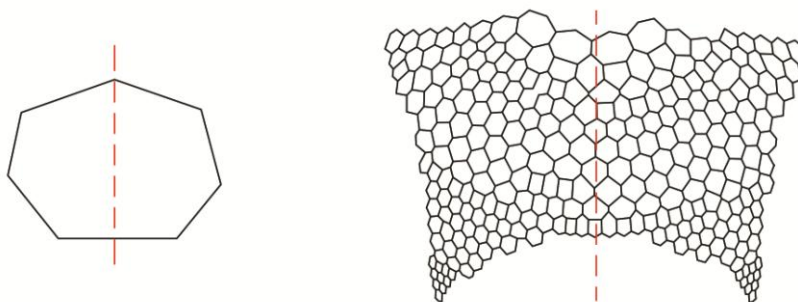


Fig. 405 – Simetria.
Simetria bilateral nos elementos estruturais (esq.) e na unidade formal (dir.).

Requisitos de organização estrutural:

1 - **configuração estrutural**: As estruturas recorrem às formas curvas (concavas e convexas).

Análise aos modelos: A malha geométrica dos modelos é referenciada em superfícies curvas (toro e esfera) (fig. 406).



Fig. 406 – Geração de modelos referenciados em superfícies curvas.
Superfície esférica (esq.) e superfície do toro (dir.).

2 - **multifuncionalidade**: os elementos denotam mais que uma função.

Análise aos modelos: As malhas geométricas geradas pela ferramenta, não fazem distinção entre a configuração geométrica formal e estrutural. As mesmas desempenham as mesmas funções.

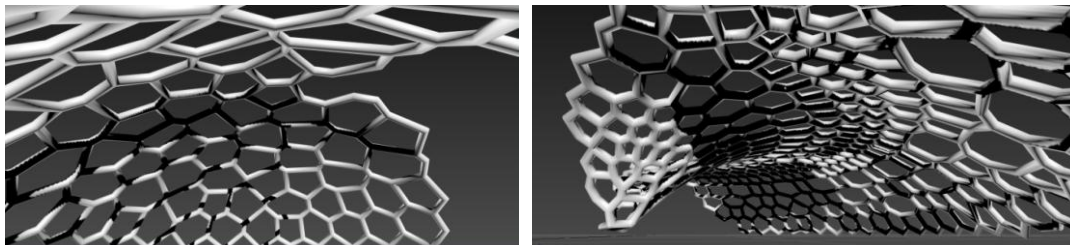


Fig. 407 – Multifuncionalidade da configuração geométrica
A mesma geometria desempenha funções estruturais e formais.

3 - **conexão interna dos elementos**: A interconexão das partes requer a disposição dos elementos em continuidade.

Análise aos modelos: Os modelos caracterizam-se por ser gerados por malhas contínuas sem perturbações estruturais. Portanto, todos os elementos e partes dos modelos estão conectados entre si, funcionando como uma unidade inquebrável.(fig. 408).

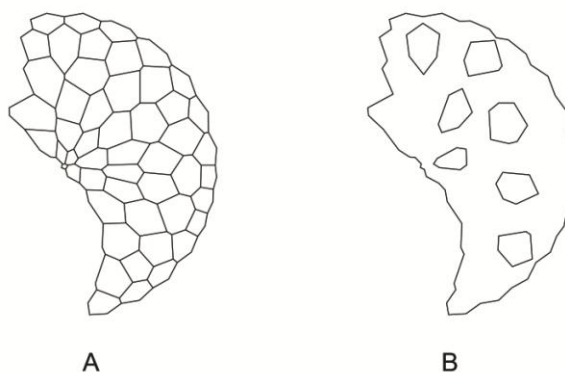


Fig. 408 – Influência da ordenação interna em continuidade na conexão de elementos estruturais.
(A) – Forma com interconexão entre elementos. Estrutura reflete coesão.
(B) –Forma sem interconexão entre elementos. Estrutura não reflete unidade.

4 - **capacidade evolutiva dos elementos**: As propriedades individuais dos elementos tornam-se mais fortes quando dispostas em conjunto num mesmo sistema.

Análise aos modelos: Pelo facto de estes modelos serem gerados mediante uma lógica de recursividade, as propriedades dos elementos estruturais (formas fechadas, simetrias locais, coesão estrutural) refletem-se espontaneamente nas estruturas. Esta transferência de qualidades para o conjunto que representam é-lhes atribuída pela potenciação das suas

qualidades. Por exemplo, os elementos enquanto entidades individuais refletem uma coesão estrutural de menor intensidade que quando assimilada por um conjunto. Portanto, os seus elementos detêm capacidade evolutiva, resultante da coerência individual dos mesmos (fig. 409).

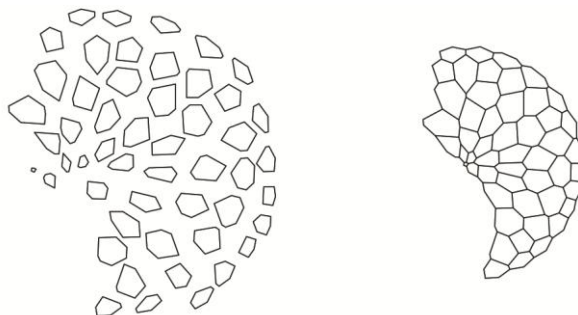


Fig. 409 – Potenciação dos elementos estruturais.
A conjugação dos elementos individuais (esq.) num mesmo sistema (dir.),
potencia a intensidade de coesão dos elementos.

5 - variação de escalas: Utilização das mesmas ordens de grandeza em diferentes escalas.

Análise aos modelos: Os modelos gerados comportam o uso das mesmas ordens de grandeza em diferentes escalas do seu desenho. Estas são utilizadas na definição dos níveis de expansão (ver anexo 2, ponto 1.1), no ângulo de expansão da composição geométrica (ver anexo 2, ponto 2.1), na relação proporcional a incutir aos elementos estruturais (ver anexo 2, ponto 1.2) e na superfície curva referencial da malha (ver anexo 2, ponto 4.4). A aplicação das mesmas é sempre estabelecida por recursividade em relação a outra, mesmo que estas se apresentem em escalas diferentes (fig. 410).

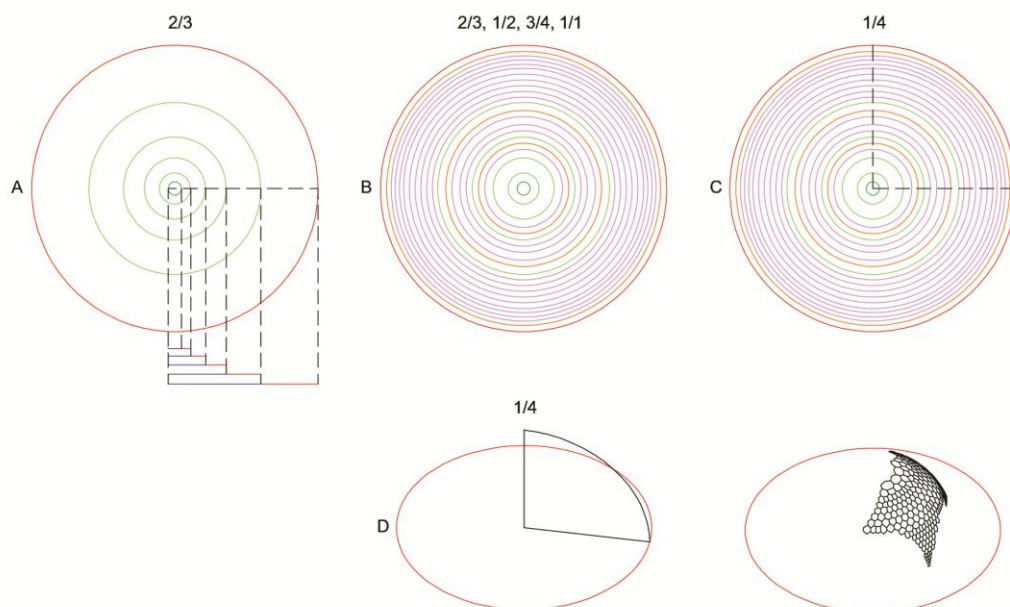


Fig. 410 – Exemplo de aplicação de ordens de grandeza similares em distintas fases
do processo de geração, tendo em conta uma referência estrutural já existente.

6 - capacidade de crescimento: as formas alteram-se por expansão, mediante a adição de elementos estruturais.

Análise aos modelos: Embora com predominância estática, os modelos são gerados mediante mecanismos de crescimento. Estes expandem-se através do acréscimo de novos elementos. Cada acréscimo impõe uma transformação na composição, pelo aumento da sua massa. Portanto, são alterações que mantêm a génese geométrica de transformações anteriores, fazendo a forma evoluir para distintos patamares (fig. 411).

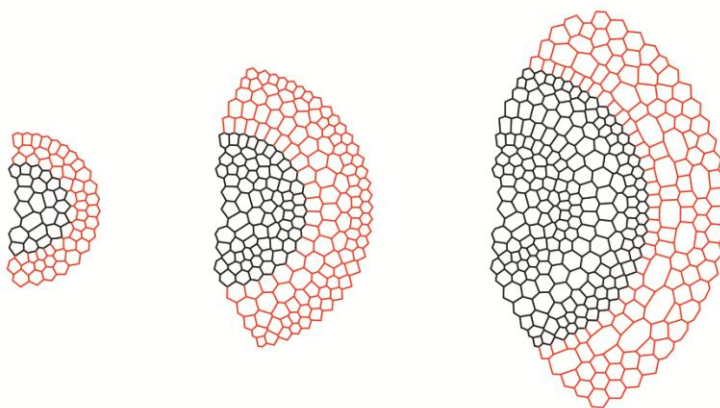


Fig.411– Expansão formal.

Expansão por adição de elementos estruturais mediante níveis de expansão.
Manutenção da génese geométrica ocorrida em cada transformação.

7 - essência estrutural em camadas: As formas são construídas por camadas dispostas em continuidade em favor de um centro.

Análise aos modelos: A organização estrutural da expansão dos modelos assenta numa forma em onda. Esta é constituída por diferentes níveis e subníveis de expansão que se referenciam no mesmo centro. Portanto, este tipo de organização incute aos modelos uma organização por camadas em favor de um centro (fig. 412).

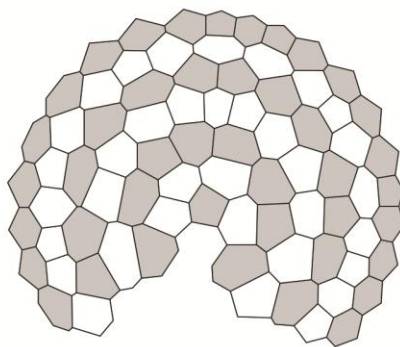


Fig. 412 – Configuração geométrica por camadas. Expansão em onda.

8 - preservação da identidade das partes: A multiplicação e a produção de forma mantém sempre a identidade morfológica da unidade.

Análise aos modelos: A configuração geométrica dos modelos é realizada pelo acréscimo de sucessivos elementos mediante uma ordem expansiva. Durante esta expansão, todas as suas fases, dependem das características morfológicas e proporcionais das partes que lhe antecedem. Portanto, a identidade morfológica, é preservada e transmitida para as novas componentes (fig. 414).

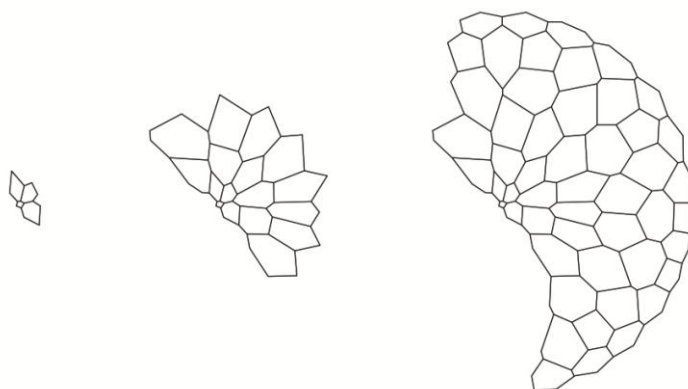


Fig. 414 – Identidade morfológica.
Independentemente da fase de expansão em que se encontram as estruturas, estas denotam sempre a mesma identidade morfológica.

Resultado da análise

Os modelos gerados pela ferramenta de desenho respondem positivamente aos requisitos biológicos delineados. Para esta avaliação, não foram contemplados os requisitos materiais, pelo facto de a ferramenta apenas contemplar soluções de essência geométrica. Assim sendo, esta apresenta-se como uma possibilidade de conceção espacial, para despontar na arquitetura, os requisitos geométricos e de organização estrutural que caracterizam uma entidade biológica. Portanto, pode-se concluir que estas estruturas denotam qualidades geométricas de uma estrutura ecológica.

4.4.2 CONTRIBUTOS NO CAMPO DE CONCEÇÃO BIOLÓGICO

As estruturas geradas pela ferramenta de desenho atingiu os requisitos exigidos pelo autor. Contudo, para delinear o contributo que a geração mediante uma perspetiva de crescimento tem no alcance dos mesmos, é necessário averiguar como outras abordagens arquitetónicas de fundamento biológico respondem às mesmas. Das abordagens identificadas,

todas acabam por enfatizar-se na componente da otimização material (menor quantidade de material e reciclagem). O que as faz divergir, é a quantidade de informação geométrica de origem biológica que introduzem nas suas composições. Mediante esta perspetiva, foram identificados pelo menos quatro tipos de abordagens distintas:

- estruturas cujos elementos não refletem padrões geométricos das estruturas vivas (A) (fig. 415);
- estruturas cujos elementos refletem o princípio de compactação estrutural das estruturas vivas (B) (fig. 415);
- estruturas cujos elementos revelam o vocabulário geométrico das estruturas vivas (C) (fig. 415);
- estruturas cujos elementos detêm uma configuração geométrica não exata (D) (fig. 415).

A análise efetuada às diferentes abordagens identificadas (ver anexo 4) demonstrou que estas vão respondendo positivamente a um maior número de requisitos biológicos, à medida que os seus elementos estruturais contemplam um maior leque de características geométricas das mesmas. A análise, também demonstrou que essas qualidades, embora apenas de essência geométrica, denotam influenciar a organização das estruturas (fig. 415).





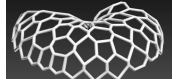
	A	B	C	D	E
					
REQUISITOS MATERIAIS	1, 2	1, 2	1, 2	1, 2	1, 2
REQUISITOS GEOMÉTRICOS	1,2,3,4,5,6	1,2,3,4,5,6	1,2,3,4,5,6	1,2,3,4,5,6	1,2,3,4,5,6
REQUISITOS DE ORGANIZAÇÃO ESTRUTURAL	1,2,3,4,5,6,7,8	1,2,3,4,5,6,7,8	1,2,3,4,5,6,7,8	1,2,3,4,5,6,7,8	1,2,3,4,5,6,7,8

Fig. 415 – Influência da introdução de características geométricas das estruturas vivas ao nível dos elementos estruturais. Requisitos alcançados (preto) e não alcançados (vermelho).

— Evolução da emergência dos requisitos biológicos através da implementação de características geométricas das estruturas vivas.

A interpretação do conceito biológico na geração de estruturas arquitetónicas, incidindo apenas em razões de otimização estrutural e material, responde superficialmente aos requisitos de arquitetura biológica definidos pelo autor (A; fig.415). Em termos de requisitos geométricos, apenas contempla qualidades referentes aos eixos orientadores (6), ou seja, a configurações

geométricas por simetria. Quanto aos requisitos de organização estrutural, esta estratégia de concepção, apenas contempla o uso de formas curvas, numa perspectiva de resistência estrutural. No entanto, quando estas estratégias de desenho introduzem o princípio de compactação estrutural das estruturas vivas (Pearce, 1978), estas alcançam outras qualidades ao nível da organização estrutural (B; fig.415). São estas: a multifuncionalidade (2), onde a componente estrutural é simultaneamente a componente da envolvente construtiva; a capacidade evolutiva dos elementos (4), em que coerência geométrica dos mesmos potencia a coesão da composição; e a preservação da identidade das partes (8), mediante a perseverança de um carácter morfológico homogêneo em toda a composição.

A introdução da forma hexagonal na configuração geométrica dos elementos estruturais permite ao desenho biológico, alcançar outros requisitos (C; fig.415). Uma consequência direta ao nível dos requisitos de ordem geométrica é o uso de elementos estruturais de derivação triangular (1). Os elementos passam a contemplar uma configuração dominante no vocabulário geométrico biológico. Ainda ao nível destes requisitos, o uso desta especificidade formal, desponta o aumento da solidez estrutural (4). A implementação de elementos com o mesmo carácter morfológico beneficia o encaixe dos mesmos. Portanto, não evidenciam qualquer tipo de perturbação estrutural, contribuindo assim, para a solidez das partes. Quanto aos requisitos de comportamento estrutural, a conquista deu-se em termos de conexão interna dos elementos (3). Estes deixam de ser definidos por intersecção, para se assumirem como unidades individuais com as suas próprias regras. A composição começa a ser realizada por módulos que se dispõem em continuidade, reforçando em conjunto a coesão da unidade em que se manifestam.

Contudo, quando a concepção de intuito biológico, chega a níveis de preocupação da morfogenética (Menges, 2010), emergem nas estruturas arquitetónicas uma outra qualidade geométrica, a irregularidade (D; fig.415). Esta qualidade quando introduzida ao nível dos elementos estruturais confere-lhes automaticamente variações de escala e fornece à unicidade de cada elemento, uma identidade particular. Portanto, a introdução desta qualidade, desponta em termos de requisitos geométricos, dois parâmetros definidos por Pourjafar, a contiguidade dos elementos (3), ou seja, a importância exclusiva de cada elemento para a composição geométrica e o uso de estruturas combinadas (5), onde a variação proporcional dos elementos, incute na malha estrutural, diferentes intensidades de configuração geométrica totalmente dependentes umas das outras. Quanto aos requisitos de comportamento estrutural, esta qualidade não origina novidades face às estruturas de padrão hexagonal regular.

No entanto, foi na pertinência de fazer acompanhar as características geométricas do processo que as faz emergir (crescimento), que se alcançou os requisitos biológicos estipulados pelo autor (E; fig.415). Comparativamente aos resultados obtidos pela intencionalidade morfogenética, a introdução deste conceito possibilitou gerar, em termos geométricos, fluidez estrutural por meio de uma organização hierárquica (2). A hierarquia torna a forma fluida, porque lhe confere uma direcionalidade de leitura, ou seja, um campo de forças. A presença desta característica, implementa nas estruturas, outras qualidades geométricas em si agregadas. São estas: a dependência estrutural, ou seja, os elementos estruturais passam a ser organizados

mediante um propósito comum, evidenciar a origem do campo de forças; simplicidade estrutural, as configurações geométricas das composições passam a ser totalmente dependentes de todos os elementos que a compõem; e conexão à envolvente, onde a existência de um campo de forças “quebra” visualmente os limites físicos das composições estruturais, permitindo a invasão da envolvente na mesma. Quanto aos requisitos de comportamento estrutural, as conquistas obtidas face às já realizadas pelas estruturas de intencionalidade morfogenética, são: a variação de escalas (5), a capacidade de crescimento (6) e a essência estrutural por camadas (7). Em termos de variação de escala, os mecanismos de crescimento requerem sempre um referencial proporcional de algo já existente, no processo de acréscimo de novos elementos. Portanto, é um mecanismo que funciona por recursividade, o que auferir às estruturas dependência entre as partes e potencia a coesão estrutural. Quanto à capacidade de crescimento, a perspectiva generativa imposta pela investigação, consegue despontar a capacidade de “equilíbrio evolutivo”. As composições conseguem denotar ao longo das suas fases de expansão, uma configuração acabada. No entanto, estas estão sempre recetivas a ser transformadas através de adição de novos elementos que não interferem no equilíbrio estrutural. Este facto confere-lhes uma qualidade evolutiva, pois a transformação possibilita o surgimento de uma nova estrutura contemplando sempre a anterior que a originou. Quanto à essência estrutural por camadas, é um reflexo de uma ordem organizativa hierárquica, tendo em conta a clarificação da origem da composição no espaço.

Resumindo, a geração de forma não desvinculando as características geométricas dos mecanismos de crescimento, permite em termos geométricos, suavizar a fronteira entre estruturas humanas e envolvente, mediante a emergência de fluidez estrutural. Enquanto que em termos de organização estrutural, a pertinência deste processo generativo, potencia a coesão estrutural, pela implementação de uma lógica generativa fundamentada na recursividade, que incute uma constante dependência entre partes em favor de um equilíbrio estrutural.

O despontar destes requisitos, revelaram ser uma consequência da implementação de um tipo de ordenação específica aos elementos estruturais. Portanto, foi exatamente este papel, que a variável crescimento veio acrescentar ao desenho biológico, ou seja, uma organização estrutural por dependência dos seus elementos.

CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES

Esta investigação centrou-se na problemática da legibilidade da qualidade ecológica na morfologia das estruturas arquitetónicas. A razão para este enfoque deve-se à divergência de qualidades formais das estruturas arquitetónicas de conotação ecológica, face às estruturas vivas. A diversidade de formas com que o fenómeno da vida informa o homem destas qualidades, demonstra que esta possui um padrão geométrico específico, que se impõe nas mesmas como uma espécie de assinatura. No caso das estruturas humanas, a situação é bem distinta. Associar a sua morfologia a uma intencionalidade ecológica, não se revela algo espontâneo, pois a informação que o homem detém das estruturas vivas, não se demonstra coerente com as mesmas.

Esta divergência de qualidades geométricas, revela um predomínio das estratégias de desenho ecológico por outras qualidades do seu padrão, que não a geométrica. No entanto, a não emergência de tais qualidades morfológicas, não significa um errado direcionamento dessas estratégias. Como referido por Craig Loehle, o padrão ecológico resulta da combinação de pelo menos seis níveis de complexidade (espaço, tempo, estrutura, processo, comportamento e geometria). A ideia da definição de um padrão ecológico proposta pelo autor, é a de gerar informação com o intuito de levar as estruturas humanas, a níveis cada vez mais próximos dos seus referenciais ecológicos, ou seja, as estruturas vivas. E esse facto requer avanços em várias áreas em simultâneo. Portanto, face à problemática das qualidades morfológicas entre estruturas, a investigação enquadrou-se no nível geométrico do padrão ecológico. Quanto ao propósito da aproximação às estruturas vivas, esta empenhou-se na procura de um processo que permitisse transportar as qualidades geométricas destas estruturas, para as de carácter arquitetónico.

A pertinência da investigação passou por tentar perceber que qualidades geométricas detêm as estruturas vivas, que as faz ser interpretadas como ecológicas. Mediante fontes bibliográficas, foi delineado um leque de características com o qual se construiu um padrão geométrico referencial. Cada uma delas foi exemplificada mediante comprovação da sua emergência nessas mesmas estruturas. No entanto, para perceber o grau de divergência das qualidades deste padrão, face às estruturas arquitetónicas, procedeu-se à comprovação da sua existência nas mesmas. Esta análise demonstrou que a presença destas qualidades, não são estranhas à arquitetura. Estas deixam de emergir nas suas composições, por uma questão de opção geométrica. Portanto, este facto confirma que a divergência de qualidades morfológicas que as estruturas auferem, advém de um problema de desenho. No entanto, este problema denotou ser mais profundo que o expectável. Apesar de existirem na arquitetura, estas não despontam em simultâneo nas suas estruturas. Podem emergir em pequenos grupos, mas estes não contemplam a totalidade do conjunto. Portanto, este facto demonstrou que as mesmas coexistem por dependência. E se esta dependência não desponha nas estruturas humanas, então é porque o processo de desenho humano não proporciona meios para tal. Concluiu-se

então, que para se proceder à transferência de tais características, estas não podem ser dissociadas do processo que as faz emergir, ou seja, o crescimento.

A implementação da variável crescimento na gênese do processo de desenho humano implica uma profunda reestruturação do mesmo. O processo atual gera estruturas cujas componentes são trabalhadas individualmente em distintas origens, sendo posteriormente dispostas em favor de uma idealização geométrica fixa. O processo mediante crescimento é totalmente inverso a este. Cada elemento estrutural é gerado em referência a todos os outros já existentes, o que lhes incute dependência pela mesma origem. Por outro lado, não obedecem a uma idealização geométrica fixa. Esta pode estar sempre em sucessiva evolução, a partir de si própria. Portanto, a transferência de qualidades geométricas das estruturas vivas para as estruturas arquitetônicas, requer um processo de desenho fundamentado em mecanismos de crescimento. Simultaneamente, e por ser esse um padrão do fenómeno da vida, este tem que impor essas qualidades num diversificado leque de estruturas.

Sendo a base referencial destas qualidades um padrão geométrico, a sua implementação noutro tipo de composições, requer a decodificação do mesmo e um mecanismo generativo que proporcione a sua combinação. Face a todos estes requisitos, construiu-se uma ferramenta de desenho fundamentada nas gramáticas da forma. Esta ferramenta interpretou o padrão mediante regras assentes em linguagem geométrica e algébrica. A partir das mesmas, gerou um conjunto diversificado de estruturas de carácter arquitetónico, com o mesmo padrão geométrico. Em todos eles, confirmou-se a presença do conjunto de características geométricas requeridas. A sua emergência, revelou o quão importante é não dissociar características do processo que as fazem emergir. A implementação individual por via direta das mesmas, não permitia a sua presença em simultâneo, pelo simples facto, de algumas delas serem resultado direto de um tipo específico de organização estrutural. Foi exatamente este o papel, que a variável crescimento veio impor ao processo, ou seja, uma organização estrutural por dependência dos seus elementos.

A variável crescimento acabou por fornecer outra liberdade à estratégia de desenho da bio arquitetura. Esta permitiu implementar a sua essência geométrica, em formas que não se assemelham a outras existentes na envolvente. Isto permite ao desenho biológico, libertar-se de um processo pela cópia direta da forma, para deter outra liberdade de geração que revelem as qualidades das mesmas. No entanto esta separação pela negação à cópia pode levantar algumas dúvidas quanto à prevalência das qualidades biológicas. A razão deve-se ao facto de a implementação destas qualidades na arquitetura, terem sido sempre feitas para potencializar uma necessidade humana predefinida e não para uma aproximação pela coerência morfológica de ambas. Contudo, existem já referenciados, requisitos geométricos e de organização estrutural (Pourjafar, 2011) para proceder à identificação da intencionalidade biológica, de estruturas geradas por processos de desenho que não recorram à cópia formal de organismos. Os modelos gerados pela ferramenta de desenho preencheram esses requisitos. Mais uma vez, a implementação da variável crescimento, demonstrou-se fundamental para o alcance das

mesmas. Comparativamente a outras estratégias de desenho de intuito biológico, que não contemplam esta variável, esta fez despontar as características em falta nessas estruturas

Todos estes factos vieram comprovar que o processo de desenho ecológico deve ter em conta, para os objetivos a que se propõe alcançar, a essência da origem dos mesmos e não só resultados diretos por ela alcançados. Este fator vai ter que inevitavelmente gerar alterações, tanto a nível do processo de desenho, como a nível da configuração geométrica das estruturas geradas. No entanto, o que se apresenta como um certo entrave a esta lógica de pensamento, é o facto de o homem não querer deixar de fazer estruturas diferentes do que o rodeia. No entanto, e como esta investigação o demonstrou, a compreensão dos seus processos, permite continuar a gerar estruturas pela diferenciação morfológica. Portanto, fundamentar o processo de desenho numa perspetiva biológica, é realmente diferente daquilo que o homem faz atualmente. No entanto, também não tem por que ser igual ao que as estruturas vivas o fazem. Apenas e só, tem que haver coerência entre ambas.

5.1 CONTRIBUTOS

5.1.1 Contributos auferidos ao desenho biológico pelo processo de crescimento

O contributo da implementação do fator crescimento no processo de desenho humano dá-se em dois níveis distintos. Um ao nível da organização das características geométricos do padrão ecológico e o outro, ao nível das qualidades geométricas que emergem da presença dessas mesmas características em simultâneo.

Algumas qualidades geométricas do padrão ecológico definido, já são implementadas noutras linhas de investigação (biomimética e a morfogenética digital). No entanto, a implementação das mesmas, incide essencialmente ao nível da configuração geométrica dos elementos estruturais. A implementação de um processo de desenho fundamentado no crescimento, para além de impor essas características aos elementos estruturais, destaca-se por lhes impor uma organização no espaço. Os principais requisitos organizativos que impõe ao desenho biológico são os seguintes:

1 - Centro gerador – O processo de crescimento impõe sempre a marcação de uma origem na composição, ou seja, existe um ponto sobre o qual a expansão se referencia.

2 - Orientação - A organização expansiva dos elementos estruturais, também se reflete sobre uma forma. Esta pode evidenciar uma configuração em onda, em espiral e em ramificação. Independentemente da configuração geométrica que a composição possa vir a evidenciar, a sua organização estrutural tem que ser orientada por uma destas hipóteses.

3 - Níveis de expansão – A expansão é realizada por camadas progressivas em redor de um centro. Estas camadas podem-se dispor em anel ou em espiral, dependendo do padrão organizativo da composição.

4 - Distribuição de elementos por cadência proporcional – os elementos estruturais, são organizados mediante uma cadência de variações proporcionais referenciados na origem da composição. Esta distribuição, propicia a emergência de um campo de forças, com o intuito de evidenciar e encaminhar a leitura da composição para a sua origem.

A dependência que as características geométricas do padrão ecológico detêm pelo processo de crescimento, é demonstrado pela emergência de outras qualidades geométricas resultantes da sua operacionalidade conjunta. São essas: equilíbrio evolutivo, simplicidade estrutural, fluidez e conexão interna à envolvente.

1 - equilíbrio evolutivo – A ordenação em favor de um centro, estabiliza as composições ao colocar os elementos estruturais a “trabalhar” para um mesmo propósito (evidenciar o centro). No entanto, esta estabilidade não lhe incute um fim. Se novos elementos adicionados partilharem da mesma função, este tipo de ordenação permite que uma forma já definida possa evoluir para outra distinta, sem perder a sua estabilidade.

2 - Simplificação estrutural – O processo de crescimento, ao determinar uma função comum a todos os elementos da composição, incute à mesma, uma total dependência pelos mesmos. Portanto, quando a composição é constituída apenas pelos elementos que lhe são necessários, esta revela simplicidade.

3 - Fluidez – As composições detêm um campo de forças que as “convida” a ser percorridas. Esta atração resulta de uma variação proporcional cadenciada dos elementos, que permite a sua leitura de um modo contínuo e sem qualquer tipo de perturbação.

4 - Conexão interna à envolvente – A organização geométrica imposta pelo crescimento, implementa nas composições um campo de forças, que transporta a envolvente para dentro das mesmas. O objetivo deste chamamento é o de apresentar-se como uma extensão da mesma, permitindo que a forma não seja interpretada como uma barreira, mas sim, como uma entidade de transferência de forças.

5.1.2 Contributos auferidos ao desenho biológico pelas gramáticas da forma

As gramáticas da forma revelam-se como uma ferramenta de desenho crucial para a descodificação e implementação do padrão geométrico definido. Os principais contributos, da sua operacionalidade na geração de modelos com esta particularidade geométrica são:

- Manipulação da ferramenta - A descrição do padrão geométrico mediante regras, permite a sua operacionalidade por qualquer pessoa que denote interesse em desenvolver estruturas com estas qualidades

- Desvinculação do padrão geométrico das formas referenciais – a descodificação do padrão em regras, afasta o processo de geração da cópia. A ferramenta permite a liberdade de implementação do padrão, em configurações geométricas distintas das existentes no panorama biológico.

- Multidiversidade formal - a descodificação do padrão geométrico em regras, permite a implementação do padrão em distintas configurações formais. Tal facto deve-se à disponibilidade que as gramáticas oferecem, em implementar um padrão sem o recurso à repetição sistemática e ordenada das mesmas ordens. Basta uma pequena alteração nessa sequência, quer por alteração de uma ordem, quer por repetição da mesma, para que as configurações sejam logo distintas.

5.1.3 Contributos da ferramenta de desenho para a arquitetura

A ferramenta resume-se a um mecanismo de modelação de forma de essência geométrica. A sua aplicabilidade segue os seguintes propósitos :

- Experimentação de conceção espacial numa perspetiva biológica - Com esta ferramenta, arquitetos e designers, podem experienciar muitas possibilidades de conceção espacial, tendo em conta requisitos de carácter geométrico e de organização estrutural das referências vivas.

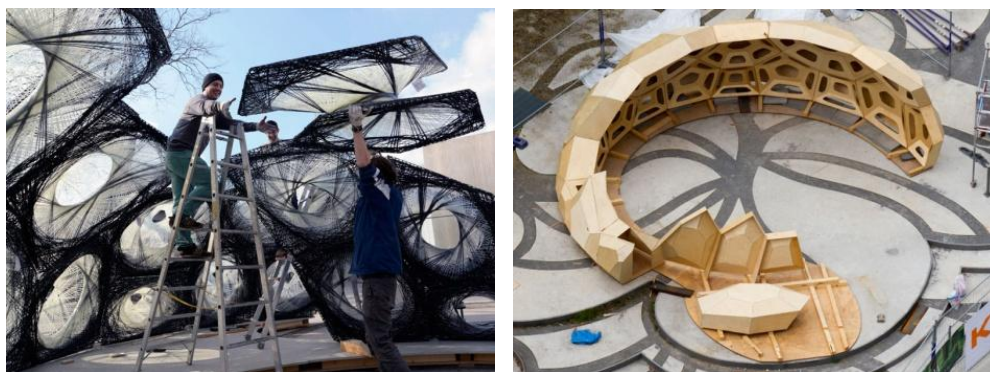
- Experimentação de um processo de desenho fundamentado na simplicidade formal pela multifuncionalidade – A configuração da forma é a mesma da configuração estrutural, não havendo separação de qualidades geométricas entre ambas. Tal facto impõe um processo de conceção espacial por continuidade, sem desagregação dos elementos por funções.

- Geração de forma pela coerência geométrica e não pela cópia – Apesar do processo de concepção impor restrições geométricas e de organização estrutural, este permite ao arquiteto, continuar a ter liberdade de concepção, sem ter que recorrer à cópia formal de organismos para as implementar nas suas estruturas.

5.2 APLICABILIDADE

Para já, uma aplicação direta na arquitetura ainda não pode ser contemplada, pelo facto de a ferramenta de desenho ainda não estar associada a um processo de fabricação. No entanto, o conhecimento obtido com a mesma pode ser utilizado como uma referência de concepção de soluções de âmbito arquitetónico, tais como:

- Referencial geométrico para o estudo de soluções arquitetónicas autoportantes - As composições geradas pela ferramenta de desenho, caracterizam-se por não realizar uma distinção entre a geometria formal e estrutural. Portanto, é uma geometria que é elaborada com princípios de autossustentação. Neste contexto, este padrão de articulação de elementos estruturais, pode ser utilizado como um referencial no desenvolvimento de soluções modulares autoportantes, que restrinjam a necessidade de uma estrutura secundária para esse efeito (fig. 416).



Pavilhão de pesquisa ICD ITKE 2011 (Achim Menges); Pavilhão de pesquisa ICD ITKE 2013-2014 (Achim Menges)

Fig. 416 - Exemplo de estruturas modulares autoportantes de configuração irregular.

- Referencial geométrico para potenciar a otimização material e estrutural em soluções de carácter arquitetónico - É com este processo generativo, que a estruturas vivas minimizam a quantidade de matéria, apenas ao estritamente necessário para fazer face às exigências estruturais de uma função. Portanto, parece relevante que este conhecimento seja uma variável a ter em conta por outras linhas de investigação (comportamento estrutural e resistência de materiais), para potenciar os níveis de otimização das suas soluções.

Um outro tipo de aplicabilidade a contemplar, é a sua implementação ao nível do ensino académico. O conhecimento adquirido pela investigação pode ser acrescido ao já implementado e transmitido nas áreas do desenho ecológico. No entanto, esta detém a mais valia de conter uma ferramenta que permitirá aos alunos, experienciar os fundamentos desta abordagem pela geração de modelos de cariz geométrico. O estudo da sua espacialidade pode ser ainda ser complementado com recurso a ferramentas de visualização tridimensional, ou a técnicas de prototipagem rápida (impressão 3D).

5.3 DESCOBERTAS

Ao longo do processo de investigação, a emergência de qualidades como a capacidade de integração da forma na envolvente e o equilíbrio estrutural, revelaram deter determinados requisitos para a sua realização que não eram expectáveis. Portanto, revela-se de importância destacar a particularidade dos mesmos.

- A capacidade de integração espontânea de formas na envolvente, não depende apenas das qualidades geométrica dos seus limites - O modo como as estruturas vivas integram a sua forma na envolvente, não é uma qualidade exclusiva dos seus limites. Esta contempla também, toda a sua organização interna. A criação de irregularidades ao longo do perímetro de uma estrutura, sem dúvida que a torna mais agarrada à envolvente. Esta sensação de aumento de “atrito” deve-se sobretudo ao aumento da diversidade de pontos de interação entre forma e envolvente. No entanto, se a interação apenas se dá ao nível do perímetro, a forma não deixa de ser uma barreira na mesma. Este facto não sucede nas estruturas vivas. Estas embora separadas da envolvente denotam nesta um papel participativo, pois deixam-se ser percorridas pela mesma. Para despontar este papel participativo, é necessário algo mais que irregularidades perimetrais. É necessário marcar a sua origem no espaço e gerar fluidez estrutural em favor dessa origem. Para tornar a estrutura participativa, esta tem que transportar a tensão gerada pelas irregularidades perimetrais na envolvente, para o seu interior. Contudo, para que essa estrutura se afirme pela distinção e não como parte da envolvente, essa tensão tem que ser anulada no seu interior. O encaminhamento dessas tensões para um ponto de anulação requer fluidez estrutural, ou seja, as formas têm que ser encaminhadas para a origem da composição, através de uma organização por variação progressiva de elementos. Portanto, as irregularidades perimetrais, a fluidez estrutural e a marcação de uma origem, vão permitir que a estrutura deixe de ser interpretada como uma barreira, para passar a ser interpretada como uma entidade de transferência de forças (fig. 417). É precisamente nesta base, que as estruturas vivas implementam as suas formas na envolvente.

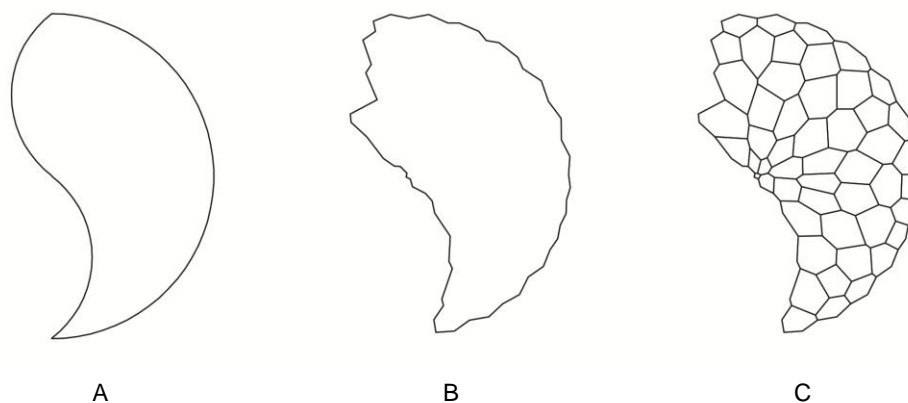


Fig. 417 – Potenciação da capacidade e integração na envolvente.

- (A) – Forma regular, como pouca interação com a envolvente. A forma impõe-se como um obstáculo firme.
 (B) – Forma com irregularidades perimetrais. A capacidade de encaixe na envolvente aumenta, mas continua a impor-se como uma barreira.
 (C) – Forma com centro de forças – Atração da envolvente para dentro da composição. Marcação de uma origem na envolvente. A forma deixa de ser uma barreira rígida, para passar a ser uma entidade de transferência de forças.

- Os mecanismos de crescimento conferem às estruturas um equilíbrio “inacabado” e evolutivo – O processo de crescimento fundamenta-se em princípios de equilíbrio. Em termos geométricos, uma composição com esta qualidade, é aquela que se convida a percorrer até atingir um ponto de pausa. Isto significa, que os elementos são dispostos na composição de um modo sequencial, com o intuito de marcar uma origem. As estruturas fundamentadas neste princípio têm a particularidade de transmitir a sensação de estar completas. A sua organização revela-se harmoniosa. Não apresenta acidentes que perturbem a sua legibilidade, pois detêm uma organização com um propósito claro, evidenciar um centro. Apesar de toda essa estabilidade, o acréscimo de novos elementos mediante o mesmo princípio de organização, não perturba o seu equilíbrio. A composição transforma-se noutra distinta, mas a sensação de forma completa permanece (fig. 418). Portanto, isto demonstra que estas estruturas não podem ser dadas como finalizadas. Apenas detêm períodos estáticos, que podem evoluir para outras formas, assim que se aplique uma transformação.

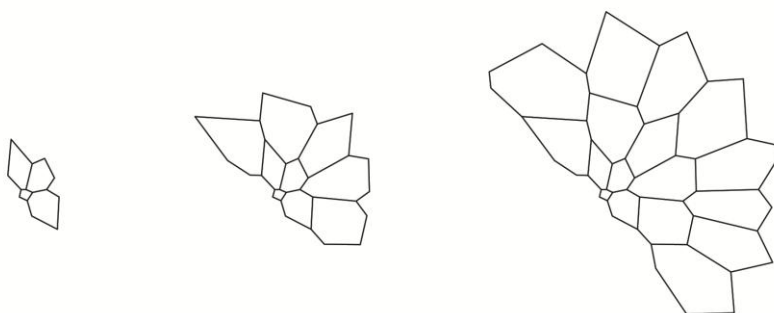


Fig. 418 – Exemplo evolutivo de uma forma mantendo equilíbrio estrutural.

5.4 TRABALHOS FUTUROS

Embora a ferramenta de desenho tenha alcançado os objetivos propostos, esta não se pode dar como encerrada. A construção da mesma, mediante gramáticas da forma, permite um contínuo aperfeiçoamento das qualidades que transpõe para os modelos. Portanto, é intenção futura, continuar a auferir qualidades à gramática, de modo a incentivar a evolutiva aproximação à essência morfológica das estruturas vivas. No entanto, pretende-se ainda potenciar a ferramenta, até à fase de materialização dos modelos. Neste sentido, é também pretensão da investigação, desenvolver um processo de fabricação dos mesmos.

5.4.1 Enriquecimento da gramática

O enriquecimento da gramática visa em melhorar e potenciar as qualidades geométricas já auferidas aos modelos, bem como a adição de novas qualidades aos mesmos. Neste propósito, pretende-se futuramente, proceder ao enriquecimento da mesma pela implementação dos seguintes requisitos:

1 - Implementação de outras álgebras das gramáticas da forma (pesos)

A ferramenta de desenho, não incluiu variações de espessura no perímetro dos elementos estruturais. No entanto, estas existem nas estruturas vivas e confere-lhes uma maior riqueza formal (fig. 419). Estas variações caracterizam-se pela irregularidade, no entanto, estas não são aleatórias. Estas existem com o intuito de potenciar os efeitos gradientes das composições. Portanto, é intenção desta investigação, despontar esta qualidade geométrica nos modelos, pela introdução na gramática, da álgebra de pesos (Stiny, 1991) (fig. 420).



Fig. 419 – Perímetro dos elementos estruturais que compõem a configuração geométrica das estruturas vivas. Geração de efeito gradiente por variação da espessura dos mesmos.

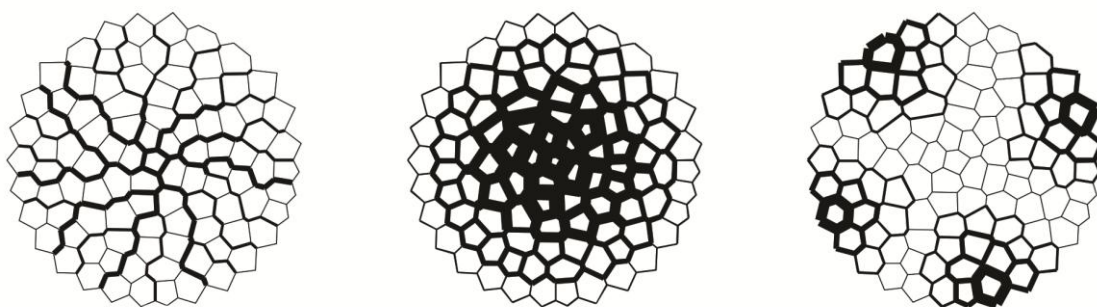


Fig. 420 – Variação da espessura do perímetro dos polígonos estruturais.
Exemplificação da diversidade formal que estas podem conferir,
tendo como ponto de partida a mesma malha estrutural.

2 - inclusão do referencial de expansão em espiral

Aquando da definição do vocabulário geométrico das formas de organização expansiva das estruturas vivas, determinou-se que a organização estrutural das mesmas implementava-se mediante três tipos de forma (onda, espiral e ramificação). A ferramenta de desenho desenvolvida, apenas contemplou a geração de formas mediante organização expansiva em onda. Esta decisão deveu-se apenas à prioridade em testar um processo de desenho através de soluções expansivas. Perante os resultados obtidos com a expansão em onda, apresenta-se como uma mais valia para potenciar a diversidade formal gerada pela ferramenta de desenho, o enriquecimento da mesma com a solução de expansão em espiral (fig. 421).

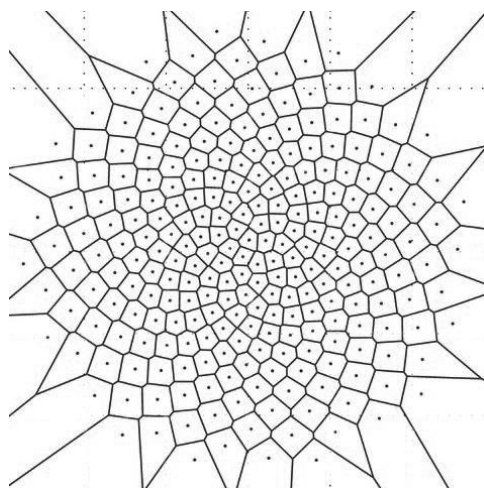


Fig. 421 – Base estrutural com forma de organização expansiva em espiral.

3 - Implementação de mais superfícies referenciais

Os modelos gerados pela ferramenta de desenho foram referenciados apenas a dois tipos de superfícies curvas (esfera e toro). De modo a enriquecer a diversidade formal das soluções geradas pela ferramenta, propõe-se a adição de outras superfícies curvas referenciais (fig. 422).

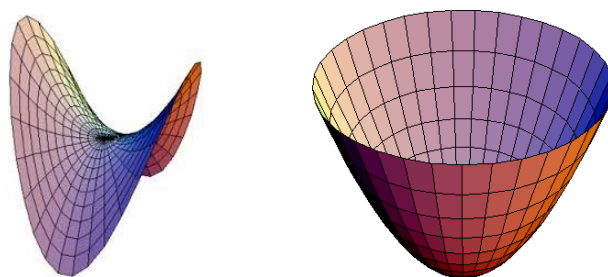


Fig. 422 – Exemplo de duas superfícies curvas a implementar.
Paraboloide hiperbólico (esq.), Paraboloide elíptico (dir.).

4 - Potenciação do efeito de rugosidade nas composições geométricas

A uniformidade das superfícies curvas referenciais onde estão implementadas composições geométricas, atenua o efeito de rugosidade quando estas denotam mais densidade estrutural. Portanto, para potenciar a sua emergência, pretende-se implementar na gramática duas distintas soluções: deformação das superfícies e inclusão de perímetros curvos nos elementos estruturais (fig. 423).

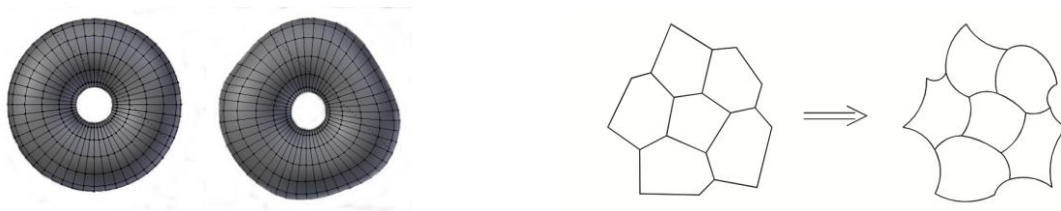
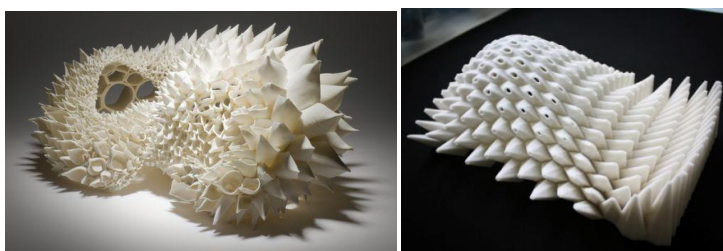


Fig. 423 – Potenciação do efeito de rugosidade.
Deformação das superfícies (esq.) e inclusão de perímetros curvos nos elementos estruturais (dir.).

5 - Preenchimento dos polígonos estruturais

O processo de desenho desenvolvido contemplou apenas e só, soluções de contraste de cheio / vazio. Portanto, os modelos gerados, apenas detêm massa ao longo do perímetro dos polígonos estruturais. É intenção futura, implementar na gramática, soluções de fecho dos mesmos. Independentemente da soluções geométricas que possam a vir ser adotadas, estas poderão fazer-se apresentar de duas distintas maneiras: ou por preenchimento das “células” com superfícies tridimensionais (fig. 424), ou com soluções complanares às mesmas (fig. 425).



Polyomino – Jose Sanchez (esq.). Porous spike – Dennis Goff (dir.).

Fig. 424 - Preenchimento das células com soluções tridimensionais.



Shellstar – Matsys (esq.). Pavilhão da Luz - Chris Knapp (dir.).

Fig. 425 - Preenchimento das células com soluções complanares à “célula”.

5.4.2 Fabricação / construção

A transferência da identidade morfológica das estruturas vivas para estruturas arquitetônicas, apenas em essência geométrica, apresenta-se como um primeiro passo de um objetivo mais ambicioso, a sua fabricação. Independentemente da solução construtiva que se venha a adotar, é objetivo desta futura fase, implementar requisitos materiais e estruturais vigentes na arquitetura de intuito biológico. São estes: uso mínimo de materiais, reciclagem / reutilização dos materiais e sistema estrutural modelar autoportante (fig. 426).



Honeyscape (Gonçalo Castro Henriques); Pavilhão de pesquisa ICD ITKE 2011 (Achim Menges); Pavilhão de pesquisa ICD ITKE 2013-2014 (Achim Menges)

Fig. 426 – Exemplos de estruturas de caráter arquitetónico que evidenciam os requisitos materiais e estruturais de intuito biológico.

Portanto, é intuito desenvolver todo um processo de geração de estruturas arquitetónicas de intuito biológico, contemplando os requisitos desta intencionalidades ao longo das diferentes fases de conceção (do desenho à fabricação). Pretende-se assim, implementar uma linha de desenho, onde não exista um corte na coerência generativa nas mudanças de fase projetual das mesmas.

BIBLIOGRAFIA

- ALEXANDER, Christopher. (2001). **The nature of order: An essay on the art of building and the nature of the universe, Book 1 – The phenomenon of life**. California. The center for environmental structure.
- ALEXANDER, Christopher. (2003). **The nature of order: An essay on the art of building and the nature of the universe, Book 2 – The process of creating life**. California. The center for environmental structure.
- ALEXANDER, Christopher. (2004). **The nature of order: An essay on the art of building and the nature of the universe, Book 3 – A vision of a living world**. California. The center for environmental structure.
- ALEXANDER, Christopher. (2006). **The nature of order: An essay on the art of building and the nature of the universe, Book 4 – The luminous ground**. California. The center for environmental structure.
- ALEXANDER, Christopher. (2004). **Sustainability and morphogenesis. The birth of a living world**. California. The center for environmental structure.
- ALMUSAED, Amjad. (2011). **Biophilic and bioclimatic architecture: Analytical therapy for the next generation of passive sustainable architecture**. London. Springer – Verlag.
- ARNDT, Ingo & Tautz, Jurgen. (2014). **Animal Architecture**. New York. Harry N. Abrams, Inc.
- ARNHEIM, Rudolf. (1988). **A dinâmica da forma arquitetónica**. Lisboa. Editorial Presença
- ARNHEIM, Rudolf. (1982). **The power of center. A study of composition in the visual arts**. Berkeley. University of California Press.
- ARTHUR, Wallace. (2006). **D’Arcy Thompson and the theory of transformations**. (Consultado 12 Setembro 2014). Disponível em URL:
<http://www.creationism.org.pl/groups/ptkrmember/inne/2006/Arthur,%20D%20Arcy%20Thompson.pdf>
- ARMSTRONG, Rachel & Spiller, Neil (2011). **Protocell Architecture design**. London. Wiley.
- ARMSTRONG, Rachel (2012). **Living architecture: How synthetic biology can remake our cities and reshape our lives**. New York. Ted Books.
- ARMSTRONG, Rachel (2009). **Architecture that repairs itself?**. (Consultado 17 Junho 2012). Disponível em URL: <https://www.ted.com/talks?q=rachel+armstrong&sort=newest>

- ARRIEN, Angeles. (1998). **Signs of life: The five universal shapes and how to use them**. New York. Tarcher.
- AURENHAMMER, Franz; Klein, Rolf & Lee, Der-Tsai. (2013). **Voronoi diagrams and Delaunay triangulations**. London. World Scientific Publishing Company.
- BAHAMÓN, Alejandro & Pérez, Patricia. (2008). **Inspired by nature: Minerals: The Building / Biology connection**. New York, W. W. Norton & Company.
- BAHAMÓN, Alejandro & Pérez, Patricia. (2009). **Inspired by nature: Animals: The Building / Biology connection**. New York, W. W. Norton & Company.
- BALL, Philip. (2011) **Shapes: Nature's patterns: A tapestry in three parts**. Oxford. Oxford University Press.
- BLACKWOOD, John. (2012). **Geometry in nature: Exploring the morphology of the natural world through projective geometry**. Edinburgh. Floris Books.
- BREIDBACH, Olaf. (2005). **Arts forms from the ocean**. New York. Prestel.
- BROWNELL, Blaine; Swackhamer, Marc; Satterfield, Blair & Weinstock, Michael. (2015). **Hypnatural: Architecture's new relationship with nature (Architecture briefs)**. New York. Princeton Architectural Press.
- CAPRA, Fritjof. (2003). **The web of life: a new scientific understanding of living systems**. New York. Anchor Books.
- CAMAZINE, Scott; Deneubourg, Jean-Louis; Franks, Nigel R.; Sneyd, James; Thereulaz, Guy & Bonabeau, Eric. (2001). **Selg-organization in biological systems**. New Jersey. Princeton University Press.
- CORBELLINI, Giovanni. (2010). **Bioreboot: The architecture of R & Sie**. New York. Princeton Architectural Press.
- DOCZI, Gyorgy. (2005). **The power of limits: Proportional harmonies in nature, art and architecture**. Boston. Shambhala Publications.
- DOLLENS, Dennis.(2009). **Digital Botanic architecture 2**. USA. eBooks & Lumen Books.
- DUARTE, José Pinto (2004) **Towards the mass customization of housing: the grammar of Siza's houses at Malagueira**. Environment and Planning B: Planning and design, Volume 32, pp. 347-380.
- EDWARDS, Brian. (2005). **O guia básico para a sustentabilidade**. Barcelona. Editorial Gustavo Gili.

- FRENCH, Karen L. (2014). **The hidden geometry of life**. London, Watkins Publishing.

- GABEL, Medard. (2007). **Regenerative Development: Going Beyond Sustainability**. (Consultado 13 de Janeiro de 2011). Disponível em URL:
<http://www.designsciencelab.com/resources/Regenerative%20Development.pdf>

- GHYKA, Matila. (1977). **The geometry of art and life**. New York. Dover Publications.

- GOLDSWORTHY, Andy. (1990). **A collaboration with nature**. New York. Harry N. Abrams. Inc.

- GRUBER, Petra. (2010). **Biomimetics in architecture: Architecture of life and buildings**. Vienna. Springer Vienna Architecture.

- HAECKEL, Ernest. (2000). **Art forms in nature**. New York. Dover Publications Inc.

- HENSEL, Michael; Menges, Achim & Weinstock, Michael. (2004). **Emergence: Morphogenetic design strategies**. Architectural Design. Vol 74 No 3. London. John Wiley & Sons.

- HENSEL, Michael; Menges, Achim & Weinstock, Michael. (2006). **Techniques and technologies in morphogenetic design**. Architectural Design. London. John Wiley & Sons.

- HOSEY, Lance. (2012). **The shape of green: aesthetics, ecology and design**. Washington. Island Press.

- JÚNIOR, António. (2004). **Ecologia profunda ou ambientalismo superficial? O conceito de ecologia e a questão ambiental junto dos estudantes**. São Paulo. Editora Arte & Ciência.

- KELLERT, Stephen; Heerwagen, Judith & Mador, Martin. (2008). **Biophilic design. The theory, science, and practice of bringing buildings to life**. New Jersey. John Wiley & Sons, Inc.

- KNOTT, RON. (2013). **Two-dimensional geometry and the golden section or fascinating flat facts about Phi**. (Consultado 10 Setembro 2014). Disponível em URL:
<http://www.maths.surrey.ac.uk/hosted-sites/R.Knott/Fibonacci/phi2DGeomTrig.html>

- LARSSON, Magnus. (2010). **Turning dunes into architecture**. (Consultado 29 Agosto, 2014). Disponível em URL:
<http://tedxproject.wordpress.com/2010/04/15/magnus-larsson-turning-dunes-into-architecture/>

- LIM, Joseph. (2009). **Bio-structural analogues in architecture**. Amsterdam. Bis Publishers.

- LITTMAN, Jacob Alexander. (2009). **A pathway beyond sustainability**. Massachusetts. University of Massachusetts.

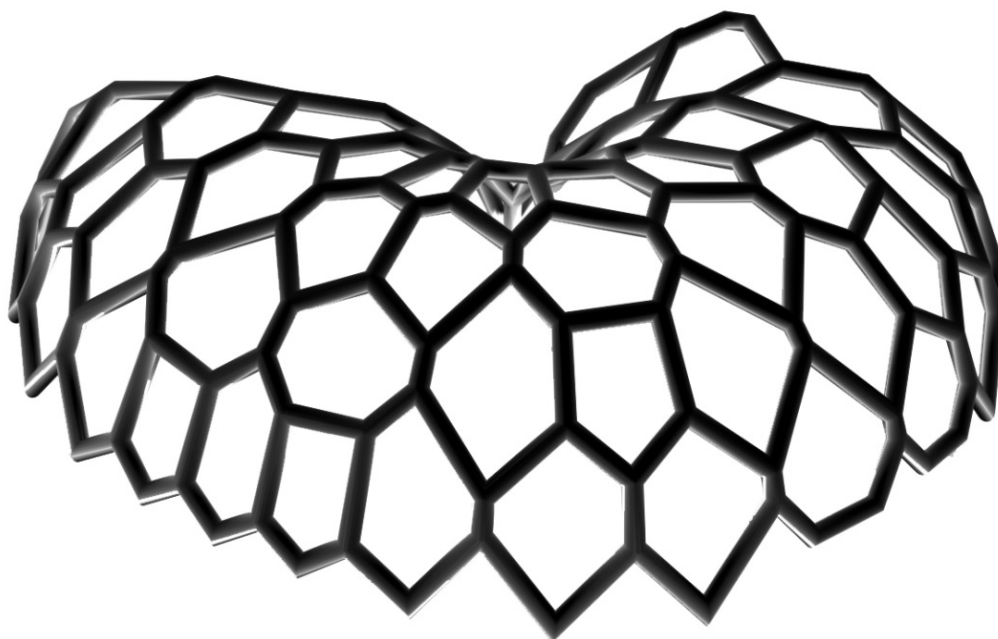
- LOEHLE, Craig. (2004). **Challenges of ecological complexity**. Ecological complexity, Volume 1, pp 3-6. (Consultado em 20 de Agosto de 2014). Disponível em URL: <http://www.sciencedirect.com/science/journal/1476945X/1/1>.
- LORENTE, Juan. (2001). **La teoría de la proporción arquitectónica en Vitruvio**. (Consultado 12 Setembro 2014). Disponível em URL: <http://www.unizar.es/artigrama/pdf/16/3varia/1.pdf>
- MACNAB, Maggie. (2011). **Design by nature: Using universal forms and principles in design**. Berkeley. New Readers.
- MANDELBROT, Benoit B. (1982). **The fractal geometry of nature**. USA. W. H. Freeman and Company.
- MAZZOLENI, Llària. (2013). **Architecture follows nature. Biomimetic principles for innovative design**. Florida. CRC Press.
- MCHARG. Ian L. (1995). **Design with nature. United States of America**. John Wiley & Sons, Inc.
- MENGES, Achim. (2012). **Material computation: Higher integration in morphogenetic design**. Architectural design. London. John Wiley & Sons.
- MENGES, Achim. (2012). **Achimmenges.net**. (Consultado 27 Junho 2013). Disponível em URL: <http://www.achimmenges.net/?cat=236>
- MILLER, James Grier. (1978). **Living systems theory**. New York, McGraw-Hill.
- MITCHELL, Joachim. (2008) **FAB TREE HOUSE**. (Consultado 28 de Agosto 2014). Disponível em URL: <http://www.archinode.com/fab-tree-hab.html>
- MITCHELL, Joachim. (2010) **Don't build your home, grow it**. (Consultado 28 Outubro 2013). Disponível em URL: https://www.ted.com/talks/mitchell_joachim_don_t_build_your_home_grow_it
- MOUZON, Stephen. (2010). **The original green: Unlocking the mystery of true sustainability**. Miami. The New Urban Guild Foundation.
- MYERS, William & Antonelli, Paola. (2012). **Bio design: nature + science + creativity**. New York. The museum of modern art Press.
- OLSON, Scott. (2006). **The Golden section: Nature's greatest secret**. New York. Walker Publishing Company. Inc.
- OKABE, Atsuyubi; Boots, Barry; Sugihara, Kokichi, Chiu, Sung Nok & Kendall, D.G. (2008). **Spatial tessellations: Concepts and applications of voronoi diagrams**. New Jersey. John Wiley & sons.
- OXMAN, Neri. (2010). **Material-based design computation**. Massachusetts. MIT.

- OXMAN, Neri. (2010). **Materialecology**. (Consultado 22 Setembro 2012). Disponível em URL: <http://www.materialecology.com/>
- PEARCE, Peter. (1978). **Structure in nature is a strategy for design**. Cambridge. The MIT Press.
- PINHEIRO, Manuel. (2006). **Ambiente e construção sustentável. Amadora**. Instituto de Ambiente.
- POLLIO, Vitruvius. (1960). **Vitruvius: Ten books on architecture**. New York. Dover Publications.
- POURJAFAR, Mohamad; Mahmoudinejad, Hadi & Ahadian, Omid. (2011). **Design with nature in bio-architecture whit emphasis on the hidden rules of natural organism**. Internacional journal of applied science and technology, Volume 1, N° 4, pp. 74 – 83.
- RANGEL, José A. Olalde. (2005). **The systemic theory of living systems and Relevance to Cam Part I: The theory** .Journal eCam, (2)1, p.p.13-18.
- REED, William & EISENBERG, David. (2003). "Regenerative design: **Toward the re-integration of human systems within nature**". (Consultado 5 de Novembro de 2010). Disponível em URL: http://www.regenesisgroup.com/pdf/Regenerative_RelIntegration.pdf.
- REED, Bill. (2007). "**Shifting our mental model – Sustainability to Regeneration**". Building Research & Information, volume 35, Issue 6, p.p. 674-680.
- ROCCA, Alessandro Rocca. (2007). **Natural Architecture**. New York. Princeton Architectural Press.
- ROHE, François & Lavaux, Stephanie. (2006). "**I've heard about...**" (Consultado 18 de Julho de 2015). Disponível em URL: <http://www.new-territories.com/I'veheardabout.htm>
- SCHEINER, Samuel M. & Willig, Michael R. (2011). **The theory of ecology**. USA. University of Chicago Press.
- SACHS, Angeli; Bergdoll, Barry; Gamboni, Dario & Ursprung, Philip. (2007). **Nature Design: From inspiration to innovation**. Zurich. Lars Muller Publishers.
- SALINGAROS, Nikos A. (1997). "**Life and complexity in architecture from a thermodynamic analogy**". (Consultado 14 de Abril de 2014). Disponível em URL: <http://archive.is/qwJdi>
- STINY, George. (1980). Introduction to shape and shape grammar. Environment and Planning B. Volume 7. pp 343-351.
- STINY, George. (2008). **Shape: Talking about seeing and doing**. Cambridge. The MIT Press.

- STINY, George & Mitchell, J. W.. (1978). **The Palladian grammar**. Environment and Planning B. Volume 5. pp 5-18.
- TATARELLA, Francesca. (2014). **Natural architecture now**. New York. Princeton Architectural Press.
- THOMPSON, D'Arcy Wentworth. (1992). **On growth and form: the complete revised edition**. New York. Dover Publications.
- WELLS, George A. (1978). **Goethe and the development of science 1750 – 1900**. The Netherlands. Sijthoff & Noordhoff Internacional Publishers B. V.
- YEANG, Ken. (1999). **Proyectar con la naturaleza**. Barcelona. Editorial Gustavo Gil.SL.

SER BIO ARQUI TECH

PARA UMA INTEGRAÇÃO CONSTRUTIVA NA EVOLUÇÃO ECOLÓGICA



ANEXOS

Nome do Doutorando: Ricardo Jorge Soares Massena Gago

Tese especialmente elaborada para a obtenção do grau de doutor

Documento provisório

Outubro, 2015

ANEXO 1

***“ANÁLISE FORMAL A PARTIR DAS 15 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS
DAS ESTRUTURAS VIVAS _ CHRISTOPHER ALEXANDER”***

ANEXO 2

“GRAMÁTICA – REGRAS”

ANEXO 3

“MODELOS GERADOS PELA FERRAMENTA DE DESENHO”

ANEXO 4

***“ANÁLISE A ESTRUTURAS ARQUITETÓNICAS DE INSPIRAÇÃO
BIOLÓGICA MEDIANTE OS REQUISITOS REFERENCIAIS DA BIO
ARQUITETURA”***

ANEXO 5

**ARTIGO DO LIVRO eCAADe 2015
REAL TIME - EXTENDING THE REACH OF COMPUTATION**

***“GEOMETRIC IDENTITY OF LIVING STRUCTURES TRANSLATED TO AN
ARCHITECTURAL DESIGN PROCESS”***

ANEXO 1

“ANÁLISE FORMAL A PARTIR DAS 15 CARATERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DAS ESTRUTURAS VIVAS _ CHRISTOPHER ALEXANDER”

Este anexo é um complemento ao ponto 2.3.1.1 – Determinação do grau de vida nas estruturas humanas.

É propósito deste anexo clarificar a aplicação da teoria de graus de vida, desenvolvida por Christopher Alexander, em estruturas humanas de caráter arquitetónico. A pertinência desta análise passa por justificar a capacidade de integração das estruturas arquitetónicas na envolvente ambiental, mediante a presença de determinadas características geométricas presentes na morfologia das estruturas vivas.

ÍNDICE

1.1 - Análise formal a partir das 15 caraterísticas geométricas das estruturas vivas

Nautilus

	Página
1 – Níveis de escala.....	9
2 – Centro forte.....	10
3 - Limites.....	11
4 – Repetição alternada.....	12
5 – Espaço positivo.....	13
6 - Boa forma.....	13
7 - Simetrias locais.....	14
8 - Ambiguidade e ligação profunda.....	15
9 - Contraste.....	15
10 - Gradientes.....	16
11 - Rugosidade.....	16
12 - Ecos.....	17
13 - O vazio.....	17
14 - Simplicidade e calma interior	18
15 – Sem separação	18
Conclusão.....	19

1.2 - Análise formal a partir das 15 caraterísticas geométricas das estruturas vivas

Auerworld Palace _ Sanfte Strukturen

1 – Níveis de escala.....	21
2 – Centro forte.....	21
3 – Limites.....	22
4 – Repetição alternada.....	23
5 – Espaço positivo.....	23
6 - Boa forma.....	24
7 - Simetrias locais.....	25
8 - Ambiguidade e ligação profunda.....	26
9 - Contraste.....	26
10 - Gradientes.....	26
11 - Rugosidade.....	27
12 - Ecos.....	28
13 - O vazio.....	28
14 - Simplicidade e calma interior.....	29
15 – Sem separação	30
Conclusão.....	30

1.3 - Análise formal a partir das 15 caraterísticas geométricas das estruturas vivas Catedral de Brasília _ Oscar Niemeyer

Página

1 – Níveis de escala.....	31
2 – Centro forte.....	32
3 – Limites.....	32
4 – Repetição alternada.....	33
5 – Espaço positivo.....	33
6 - Boa forma.....	34
7 - Simetrias locais.....	34
8 - Ambiguidade e ligação profunda.....	35
9 - Contraste.....	36
10 - Gradientes.....	36
11 - Rugosidade.....	37
12 - Ecos.....	37
13 - O vazio.....	38
14 - Simplicidade e calma interior.....	39
15 – Sem separação.....	39
Conclusão.....	40

1.4 - Análise formal a partir das 15 caraterísticas geométricas das estruturas vivas Catedral de Brasília _ Oscar Niemeyer

1 – Níveis de escala.....	41
2 – Centro forte.....	42
3 – Limites.....	43
4 – Repetição alternada.....	44
5 – Espaço positivo.....	44
6 - Boa forma.....	46
7 - Simetrias locais.....	47
8 - Ambiguidade e ligação profunda.....	48
9 - Contraste.....	48
10 - Gradientes.....	49
11 - Rugosidade.....	49
12 - Ecos.....	50
13 - O vazio.....	51
14 - Simplicidade e calma interior.....	51
15 – Sem separação	52
Conclusão.....	53

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1 – NAUTILUS

Página

Figura 1 -	Níveis de escala _ Nautilus.....	9
Figura 2 -	Relações proporcionais na concha.....	10
Figura 3 -	Relações proporcionais no organismo.....	10
Figura 4 -	Centro forte no Nautilus _ o olho.....	11
Figura 5 -	Local onde se situam os múltiplos centros fortes.....	11
Figura 6 -	A forma tem uma relação entre múltiplos centros fortes que atingem a sua máxima expressão no olho.....	11
Figura 7 -	Corte transversal do organismo.....	12
Figura 8 -	Relação proporcional numa espiral.....	12
Figura 9 -	Repetição alternada entre a presença e ausência de tentáculos.....	12
Figura 10 -	Repetição alternada entre duas formas sólidas de relevo semelhante e coloração distinta.....	12
Figura 11 -	Delimitação das formas.....	13
Figura 12 -	Legibilidade dos elementos.....	13
Figura 13 -	Simetrias locais em perfil frontal detêm simetria bilateral que ilude perfeição...	14
Figura 14 -	Simetrias locais em perfil lateral.....	14
Figura 15 -	Ambiguidade na concha.....	15
Figura 16 -	Ambiguidade nos tentáculos.....	15
Figura 17 -	Contraste através da oposição claro / escuro.....	15
Figura 18 -	Contraste através da oposição cheio / vazio e dinâmico / calmo.....	15
Figura 19 -	Gradientes na configuração geométrica da concha.....	16
Figura 20 -	Gradientes no tentáculo.....	16
Figura 21 -	Efeitos de relevo e sinuosidade geram expressividade na forma.....	16
Figura 22 -	A irregularidade posicional e proporcional, criam uma expressividade livre que se traduz em rugosidade.....	16
Figura 23 -	Caráter morfológico da composição geométrica do Nautilus.....	17
Figura 24 -	Equilíbrio entre a zona com distúrbio geométrico e a zona onde impera a calma e a tranquilidade.....	17
Figura 25 -	Dependência estrutural.....	18
Figura 26 -	Legibilidade formal.....	18
Figura 27 -	Simplicidade.....	18
Figura 28 -	Coerência estrutural.....	19
Figura 29 -	Quadro resumo da análise.....	19

1.2 – AUERWORLD PALACE

Figura 30 -	Níveis de escala em planta.....	21
Figura 31 -	Níveis de escala em alçado.....	21
Figura 32 -	Campo vetorial da composição geométrica.....	22

	Página
Figura 33 - Campo de forças _ fatores.....	22
Figura 34 - Centro e limite com a mesma ordem de magnitude.....	22
Figura 35 - Exemplo de dois conjuntos de elementos estruturais dispostos alternadamente pela simetria radial da composição.....	23
Figura 36 - O efeito de oscilação da forma, provocada pela repetição alternada de elementos com variação formal e posicional, segundo uma idealização geométrica exata.....	23
Figura 37 - Exemplo de elementos semelhantes, fechados e sobrepostos.....	24
Figura 38 - Outro exemplo de elementos semelhantes, fechados e sobrepostos.....	24
Figura 39 - Exemplo de sobreposição de três elementos distintos.....	24
Figura 40 - Diferenciação entre elementos estruturais com espaço positivo e sem espaço positivo.....	24
Figura 41 - Ausência de simetrias locais na configuração geométrica em planta.....	25
Figura 42 - Simetrias locais no objeto construído.....	25
Figura 43 - Exemplo de uma ligação à envolvente por ambiguidade.....	26
Figura 44 - Unicidade do centro.....	26
Figura 45 - A diferenciação das formas dos elementos pela oposição cheio / vazio.....	26
Figura 46 - Níveis de gradação da composição, tendo como referência a variação na proporção dos elementos.....	27
Figura 47 - A expressividade causada pela inúmeras irregularidades das formas, criam em conjunto, uma sensação de rugosidade.....	27
Figura 48 - Caracterização morfológica da composição.....	28
Figura 49 - A zona calma da forma _ vazio.....	28
Figura 50 - Simplicidade.....	29
Figura 51 - Ausência de calma interior.....	29
Figura 52 - A composição geométrica sem os elementos formais desnecessárias à manutenção da unidade formal.....	29
Figura 53 - Fusão entre envolvente e forma _ vista aérea.....	30
Figura 54 - Coerência formal.....	30
Figura 55 - Quadro resumo da análise.....	30

1.3 – CATEDRAL DE BRASÍLIA

Figura 56 - Níveis de escala em alçado.....	31
Figura 57 - Níveis de escala em elementos estruturais.....	31
Figura 58 - Centro forte.....	32
Figura 59 - Perturbação estrutural.....	32
Figura 60 - Centro e limite têm aproximadamente a mesma ordem de magnitude.....	32
Figura 61 - Regularidade geométrica.....	33
Figura 62 - Cadência de elementos estruturais.....	33
Figura 63 - Caracterização geométrica dos elementos.....	33
Figura 64 - Legibilidade dos elementos.....	33
Figura 65 - Composição geométrica por simetria exata.....	35

	Página
Figura 66 - Simetria bilateral exata do alçado e simetria radial exata da planta.....	35
Figura 67 - Repetição exata dos elementos geométricos da forma mediante um eixo de simetria radial.....	35
Figura 68 - Simetria dos elementos estruturais.....	35
Figura 69 - Pontos de ligação.....	36
Figura 70 - Conexão entre forma e envolvente.....	36
Figura 71 - Imposição estrutural.....	36
Figura 72 - Contraste com oposição claro e escuro.....	36
Figura 73 - Gradientes e centro forte.....	37
Figura 74 - Gradientes por continuidade linear e gradientes por salto proporcional.....	37
Figura 75 - Ausência de rugosidade.....	37
Figura 76 - Ausência de irregularidades posicionais e proporcionais.....	37
Figura 77 - Caráter morfológico em alçado.....	38
Figura 78 - Perturbação morfológica.....	38
Figura 79 - Zona homogénea da composição onde impera a calma e tranquilidade.....	38
Figura 80 - Perturbação estrutural.....	39
Figura 81 - A simplicidade estrutural em alçado.....	39
Figura 82 - A simplicidade estrutural em planta.....	39
Figura 83 - Incoerência geométrica com o padrão geométrico da envolvente.....	40
Figura 84 - Imposição espacial rígida.....	40
Figura 85 - Quadro resumo da análise.....	40

1.4 – LAR DE IDOSOS DE ALCÁCER DO SAL

Figura 86 - Relação proporcional entre a dimensão dos troços que constituem a composição geométrica.....	41
Figura 87 - Variações proporcionais existentes ao longo do perfil da composição.....	41
Figura 88 - Relação proporcional dos diversos troços que constituem a configuração linear da composição.....	41
Figura 89 - Variações de proporção no alçado.....	42
Figura 90 - Variações de proporção no alçado.....	42
Figura 91 - Campo de forças na forma idealizada.....	43
Figura 92 - Os diferentes campos de força produzidos pelo efeito de gradação dos elementos estruturais.....	43
Figura 93 - Ausência de campos de força.....	43
Figura 94 - Ausência de campos de força.....	43
Figura 95 - Ritmo alternado entre elementos estruturais semelhantes.....	44
Figura 96 - Ausência de efeito de oscilação na configuração geométrica da planta.....	44
Figura 97 - Ausência de espaço positivo na configuração geométrica da planta.....	45
Figura 98 - Alçado em estudo.....	45
Figura 99 - Elementos estruturais com espaço positivo.....	45
Figura 100 - Elementos estruturais sem espaço positivo.....	45

	Página
Figura 101 - Outra hipótese de circunscrever as formas.....	45
Figura 102 - A composição desenvolve-se por simetria bilateral não exata.....	47
Figura 103 - Distribuição dos elementos estruturais.....	47
Figura 104 - Simetrias locais nos elementos estruturais.....	47
Figura 105 - Ausência de simetrias locais na configuração geométrica do alçado.....	47
Figura 106 - Facetamento rígido das imposições geométricas.....	48
Figura 107 - Representação gráfica das imposições geométricas.....	48
Figura 108 - Fronteira de interação entre edifício e envolvente.....	48
Figura 109 - Imcomprimento do propósito da oposição cheio / vazio.....	49
Figura 110 - Ausência de gradientes.....	49
Figura 111 - Ausência de rugosidade por predominância dos mesmo ângulos geométricos.....	50
Figura 112 - Monotonia geométrica.....	50
Figura 113 - Caráter morfológico dos elementos estruturais em planta.....	50
Figura 114 - Caráter morfológico nos elementos estruturais em alçado.....	50
Figura 115 - Ausência de vazio.....	51
Figura 116 - Predominância de “ruído” estrutural.....	51
Figura 117 - Alçado sem simplicidade e calma interior.....	52
Figura 118 - A geometria pura das formas dos elementos estruturais da composição geométrica.....	52
Figura 119 - Imposição pela distinção.....	52
Figura 120 - Clara separação entre forma e envolvente.....	52
Figura 121 - Quadro resumo da análise.....	53

ANÁLISE FORMAL A PARTIR DAS 15 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DAS ESTRUTURAS VIVAS NAUTILUS

1 – Níveis de escala

Os saltos proporcionais entre elementos geométricos adjacentes, estão dentro dos limites estabelecidos por Alexander (1:4, 1:3, 1:2, 1:1, 2:1, 3:1, 4:1). A forma geral do organismo, é uma forma compacta e coesa com uma relação proporcional aproximada de 1:1. Quando o organismo se estende para além da concha, a relação proporcional é de aproximadamente 1:1.5 (fig. 1). Se se analisar a proporção dos elementos que originam a forma geral, os saltos proporcionais entre elementos são harmoniosos. Por exemplo, nos elementos geométricos que compõem a concha (fig.2), os saltos entre um elemento e todos os que lhe estão adjacentes, não é inferior a metade ou superior ao dobro das suas proporções. O mesmo sucede entre os elementos do organismo. Por mais complexas e irregulares que sejam as formas (fig. 3), os saltos de proporção entre os mesmos não é superior ao quádruplo, nem inferior a um quarto. A dificuldade em perceber estes saltos, deve-se ao facto, destes não terem que ser iguais em todas as suas dimensões (xy). Por exemplo, uma forma pode estender-se o dobro numa dimensão e o quádruplo na outra.

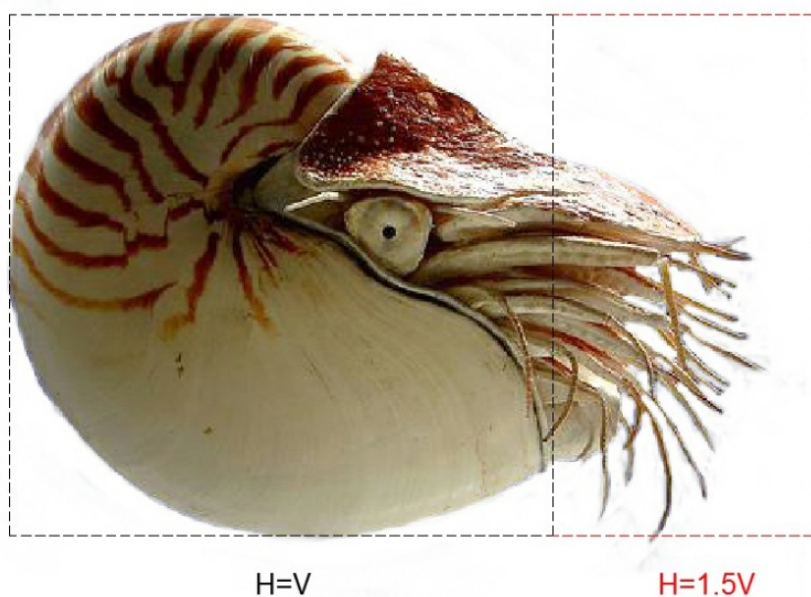


Fig. 1 – Níveis de escala _ Nautilus
A relação proporcional que a forma apresenta no espaço é de 1:1, extensível a 1: 1.5 quanto os tentáculos estão estendidos.

Nota: Em casos mais complexos, como são o caso dos organismos vivos, é necessário ter bem presente antes de se iniciar qualquer análise proporcional, a seguinte regra. O estudo de proporções só pode ser efetuado entre elementos adjacentes por continuidade formal. Isto significa, por exemplo que não é correto fazer uma análise proporcional entre um dedo da mão e o antebraço,

pela simples razão, de não existir qualquer tipo de ligação direta entre ambos. Por isso, um estudo correto de proporções deve ser feito entre o dedo e a palma da mão, elemento este do qual deriva. No caso do Nautilus, não é correto fazer um estudo proporcional entre o olho e a concha. Apesar de parecerem formas que estão em contacto, estas não derivam uma da outra. Não têm qualquer tipo de ligação direta. Por essa razão, não se pode estabelecer uma regra de proporção entre ambos.



Fig. 2 – Relações proporcionais na concha. Os elementos estruturais que compõem a concha têm todos eles, diferentes proporções entre si. O salto proporcional mantém sempre a harmonia da forma. Os saltos de proporção existentes entre o elemento vermelho e os elementos adjacentes a verde, não ultrapassam o dobro ou a metade do mesmo.



Fig. 3 – Relações proporcionais no organismo. A relação proporcional entre o elemento a vermelho e os que lhe são adjacentes, não apresentam saltos proporcionais superiores ao quádruplo ou inferiores a 1/4.

2 – Centro forte

A estrutura viva tem um centro forte bem definido, o olho (fig. 4). Todos os elementos geométricos que compõem a forma são direcionados para esse elemento. Contudo, esta forma tem outra particularidade. É constituída por outros centros fortes que podem ganhar preponderância em caso de ausência do organismo (fig. 6). A composição geométrica da concha desenvolve-se a partir de um centro forte específico. No entanto, a presença desse, não é anulado pela presença do organismo. Aliás, é importante para reforçar e permitir a mutabilidade de um centro forte da forma para outro. Este exemplo demonstra que o centro preponderante depende da existência dos outros existentes nos diversos níveis de geração (fig. 5).



Fig. 4 – Centro forte do Nautilus _ o olho. Todos os elementos que a compõem são direcionados para esse elemento geométrico.



Fig. 5 - Local onde se situam os múltiplos centros fortes.

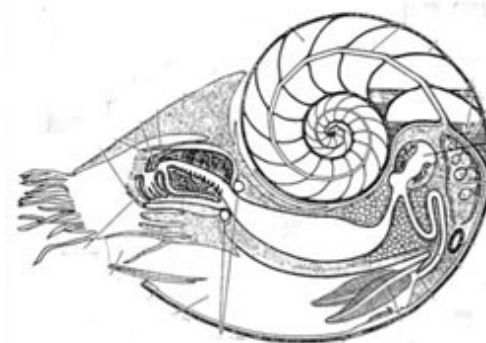
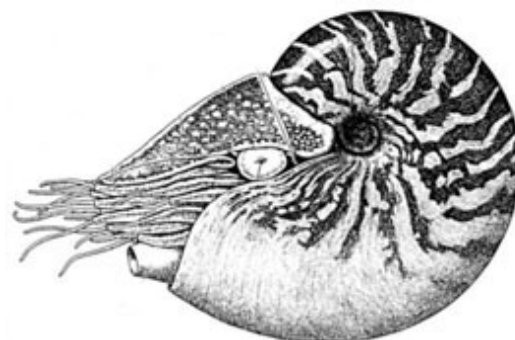


Fig. 6 – A forma tem uma relação entre múltiplos centros que atingem a sua máxima expressão no olho. Em caso de ausência do organismo, a própria concha tem um centro forte, que simplesmente perde a sua preponderância geral face à importância do centro existente no organismo.

3 –Limites

A forma é rica em sucessivos limites. Contudo, é uma característica de difícil interpretação, isto porque, é necessário recorrer às secções transversais dos elementos a compõem. Analisando, a parte do organismo propriamente dita, é visível a existência de diversos limites. Na primeira imagem da fig. 7, é perceptível que o limite da forma (verde) tem a mesma ordem de magnitude do centro (vermelho). Na segunda imagem, o limite torna-se mais complexo. Considerando a verde o centro, o limite (vermelho) continua a ter a mesma ordem de magnitude do centro, mas o limite é mais trabalhado, por completar a ligação deste com a envolvente. Portanto, neste caso, o limite é constituído por elementos semelhantes aos do centro e elementos da envolvente que penetram na forma por entre a composição geométrica dos tentáculos. Este limite desfragmenta a forma para conseguir unir e isolar o centro da envolvente.

Numa forma em espiral, a relação de magnitude entre centro e limite está em constante alternância. Portanto, a leitura tem que ser realizada de um modo distinto. Seguindo a rotação desse elemento geométrico, é possível observar que sempre que se escolhe uma secção desse elemento (vermelho), essa mesma proporção é repetida no elemento geométrico que se situa no anel exterior. E este fenómeno é uma constante estável, como é possível observar pelas diversas imagens que compõem a fig. 8.

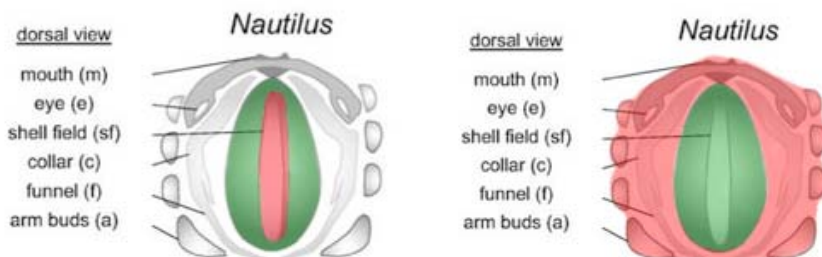


Fig. 7 – Corte transversal do organismo. Os centros têm a mesma ordem de magnitude dos limites.

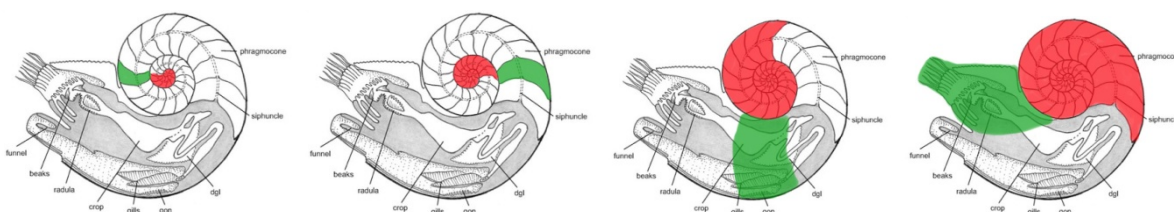


Fig. 8 – Relação proporcional numa espiral. A ordem de magnitude entre o centro e o limite, está sempre em alternância. Contudo, se se isolar partes do centro, é possível observar que a mesma proporção deste é repetida no anel exterior da forma.

4 – Repetição alternada

A repetição alternada entre dois elementos é um dos processos que os mecanismos de crescimento da vida utilizam para expandir a forma. Essa particularidade está fortemente presente nesta forma, com diversas e distintas soluções geométricas. São exemplo, os elementos geométricos que compõem a concha, o padrão colorido existente na camada externa da mesma e os tentáculos. O padrão colorido da concha, é a única solução cuja repetição alternada é feita sem mudança de relevo e onde ambas as formas têm um substrato físico. Já na sua composição geométrica, as formas também têm um substrato físico, mas com alternância de relevo (fig. 10), que cria a ilusão de ser uma repetição com recurso a cheio/ vazio. Nos tentáculos, a repetição, aí sim, é de alternância entre cheio/ vazio (fig. 9). Em todas estas soluções, a repetição não é exata. Os elementos sofrem variações proporcionais e posicionais, o que origina um efeito de oscilação típico da repetição alternada existente nas existências vivas.



Fig. 9 – Repetição alternada entre presença e ausência de tentáculos.



Fig. 10 – Repetição alternada entre duas formas sólidas de relevo semelhante e coloração distinta.

Fq

5 – Espaço positivo

Por mais complexos que sejam os elementos geométricos da forma, todos eles são fechados, perfeitamente contornáveis e legíveis. Portanto, são distinguíveis das formas dos elementos que lhes são adjacentes. Assim sendo, estas são sustentadas pelas próprias. Não resultam de “restos” de outras formas, nem dão forma a outras (fig. 11 e 12).



Fig. 11 – Delimitação das formas. Os elementos estruturais são facilmente circunscritos.



Fig. 12 – Legibilidade dos elementos. As formas dos elementos são perfeitamente distinguíveis de todos os outros situados na sua adjacência.

6 – Boa forma

A forma responde a todas as propriedades requeridas para despontar a qualidade geométrica da boa forma.

1 - tem um alto grau de simetrias internas;

Todos os elementos geométricos que compõem a forma, bem como a composição geral, têm níveis de simetria fortes. A simetria bilateral de todos os elementos é bastante semelhante e familiar (ver ponto 7 - Simetrias locais).

2 - é quase sempre definida por uma simetria bilateral;

A forma contém elementos, cuja composição geométrica, resulta de uma distribuição de elementos mediante uma simetria radial. No entanto, os elementos geométricos que as constituem são definidos na sua larga maioria por uma simetria bilateral (ver ponto 7 - Simetrias locais).

3 - tem um centro bem definido, que não necessita de ser o centro geométrico da forma;

A forma, tem um centro forte bem definido. Este não é coincidente com o centro geométrico da forma (ver ponto 2 – Centro forte).

4 - tem espaço positivo;

Todos os elementos geométricos que a compõem, são perfeitamente distinguíveis dos elementos que lhes estão adjacentes. São todas elas formas fechadas, perfeitamente contornáveis, com regras e propriedades próprias (ver ponto 5 - Espaço positivo).

5 - são fortemente distintas daquilo que a rodeia;

A forma é perfeitamente distinta da envolvente, mas a sua composição geométrica permite-lhe uma fácil capacidade de encaixe com a mesma. (ver ponto 8 - Ambiguidade e ligação profunda e o ponto 15 - Sem separação).

6 - são relativamente compactas, dentro das proporções dos níveis de escala (1:1, 1:2, 1:4);

A composição geral é compacta e apresenta uma proporção aproximada da ordem de grandeza 1:1.5. (ver ponto 1 - Níveis de escala).

7 - são formas fechadas que transmitem a sensação que estão completas.

A composição, por muito diversos e irregulares que sejam os seus elementos, detém uma composição geométrica em que tudo aparenta estar relacionado. Os elementos geométricos são perfeitamente legíveis e não contêm elementos desnecessários à manutenção da unidade formal. (ver ponto 12 - Ecos e o ponto 14 - Simplicidade e calma interior).

7 – Simetrias locais

A estrutura tem elementos geométricos gerados quer por simetria bilateral quer por simetria radial. Contudo, nenhuma destas simetrias é perfeita. São simetrias por semelhança e não por cópia. Portanto, detêm simetrias locais. O perfil frontal (fig. 13) do organismo, parece muito próximo de uma simetria perfeita, mas existem irregularidades proporcionais em formas semelhantes que anulam essa perfeição. No caso do perfil lateral (fig. 14), a composição em simetria radial é composta por diversos elementos, cuja composição geométrica diversificada, anula desde logo, qualquer tipo de simetria por perfeição.

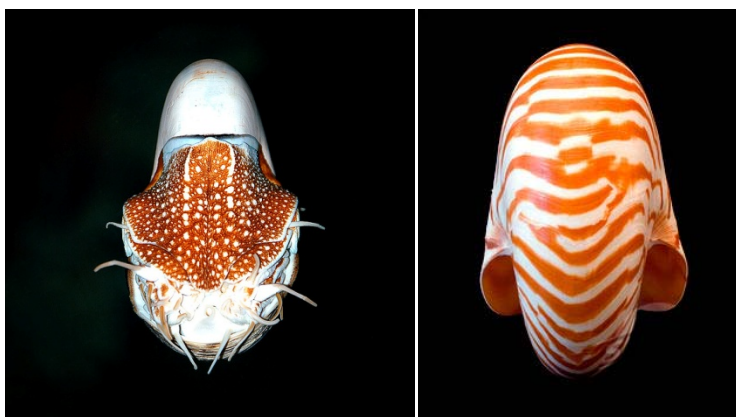


Fig. 13 - Simetrias locais em perfil frontal.



Fig. 14 – Simetrias locais em perfil lateral.

8 – Ambiguidade e ligação profunda

A ligação à envolvente, é resolvida por ambiguidade (diferença entre área de superfície e o volume não é muito acentuada). A ambiguidade apresenta-se com diferentes soluções. A concha é uma forma muito compacta e coesa, que aparenta ter poucas irregularidades que a agarrem à envolvente. Contudo, o seu desenvolvimento em “funil” com inúmeras variações espaciais permite que a envolvente invada a forma. É esse jogo de invasões que cria as ligações entre a forma e a envolvente e que as agarra uma à outra (fig. 15). Outro tipo de solução para a ambiguidade encontra-se na composição geométrica dos tentáculos. Nesta solução, o volume da forma e a envolvente, sobrepõem-se e criando um efeito de gradação. Os tentáculos, convidam a envolvente a entrelaçar-se na forma, mas reduzindo gradualmente a presença da envolvente à medida que estes elementos se aproximam do centro forte da mesma (fig. 16). Em ambas as soluções, são as diversas irregularidades que criam o “atrito” necessário para agarrar a forma à envolvente.



Fig. 15 – Ambiguidade na concha. As irregularidades da composição geométrica afunilada criam inúmeros pontos de ligação entre a forma e a envolvente.



Fig. 16 – Ambiguidade nos tentáculos. Estes e a envolvente, entrelaçam-se, criando ligações por gradação.

9 – Contraste

O contraste é sem dúvida, a par da simetria, uma das características mais evidentes na estrutura. Através do contraste, é possível distinguir todos os elementos a que compõem. A oposição predominante na aparência externa da forma é a oposição escuro/claro (vermelho / branco) (fig. 17). No olho, a oposição claro/ escuro, é feita através das tonalidade de azul claro e preto. Outros dois tipos de oposição encontram-se no interior da concha. Os elementos geométricos que compõem a concha são definidos por uma oposição de cheio/vazio (fig. 18). No entanto, esta composição dinâmica é de súbito interrompida por um súbito salto proporcional de um dos seus elementos que trava a dinâmica. Este facto confere à composição uma oposição dinâmico / calmo.



Fig. 17 - Contraste através da oposição claro / escuro.



Fig. 18 – Contraste através da oposição cheio / vazio e dinâmico / calmo.

10 – Gradientes

A forma, é toda ela constituída por sucessivos e distintos elementos familiares, que se repetem ao longo da composição através de um efeito de gradação. Apesar da forma apresentar diferentes soluções geométricas, todas elas acabam por gerar vários campos de força, que em conjunto reforçam a presença do centro forte. Essa gradação geométrica está em inúmeras componentes da forma, sendo as de maior destaque, o crescimento sucessivo dos diversos elementos geométricos da concha (fig. 19), a continua variação de espessura dos tentáculos, a redução da proporção das formas do padrão malhado exterior da concha e os elementos circulares presentes na “cabeça” do organismo (fig. 20).



Fig. 19 – Gradientes na configuração geométrica da concha. A variação progressiva no tamanho dos elementos geométricos que compõem a concha cria um campo de forças.



Fig. 20 – Gradientes no tentáculo. A variação da espessura dos tentáculos direciona o olhar para o centro forte da forma.

11 – Rugosidade

A forma aparenta uma morfologia rugosa. Esta deve-se às sucessivas e constantes irregularidades geométricas dos elementos que a compõem. Estas irregularidades estão assentes em semelhanças formais que apresentam saltos proporcionais e posicionais com os elementos geométricos que lhes estão adjacentes. A textura criada por esta liberdade posicional, cria uma textura muito expressiva em toda a forma. A forma explode em efeitos de relevo e sinuosidade com uma liberdade tal, que não é possível deslumbrar qualquer tipo de regra composicional rígida. E esta leitura é possível, porque o efeito rugoso depende da total legibilidade dos elementos que a constituem (fig. 21 e 22).



Fig. 21 – Efeitos de relevo e sinuosidade geram expressividade na forma.



Fig. 22 – A irregularidade posicional e proporcional criam uma expressividade livre que se traduz em rugosidade.

12 – Ecos

A composição morfológica da forma é constituída por elementos geométricos familiares, que se repetem ao longo da composição. O resultado é uma forma onde tudo parece perfeitamente relacionado (fig. 23).



Fig. 23 – Caráter morfológico da composição geométrica do Nautilus.
Todos os elementos geométricos que compõem a forma denotam familiaridade entre si.

13 – O vazio

O vazio é descrito como sendo as zonas homogêneas da forma onde impera a tranquilidade e a calma. Elas existem para contrabalançar o distúrbio estrutural da forma. Esta tranquilidade é normalmente obtida através da destruição gradual de uma estrutura geométrica. No caso em estudo, esta característica geométrica é facilmente perceptível na composição geométrica da concha. A sucessão gradual dos elementos geométricos que compõem a sua forma cria uma zona de distúrbio. Esta que é contrabalançada com a presença de um elemento geometricamente semelhante, mas numa proporção tal, que interrompe a composição geométrica através da presença de uma zona homogênea, calma e tranquila (fig. 24).



Fig. 24 – Equilíbrio entre a zona com distúrbio geométrico e a zona onde impera a calma e a tranquilidade.

14 – Simplicidade e calma interior

A composição geométrica é simples e com calma interior. A simplicidade formal deve-se ao facto de ser uma forma com elementos geométricos simples, perfeitamente legíveis e tangíveis. Quanto à presença de calma interior, deve-se ao facto da sua unidade formal não ser constituída por elementos desnecessários à sua manutenção formal. Cada elemento está perfeitamente relacionado com os que lhe são adjacentes. A dependência pelos outros dá à forma a ideia de que tudo está relacionado e “colado”. Tudo parece inseparável. Não existe nenhum elemento geométrico estranho e dispensável pela forma (fig. 25, 26 e 27).



Fig. 25 – Dependência estrutural. Tanto a forma geral como a forma dos elementos geométricos que a compõem são simples. A sucessão dos elementos demonstra o quanto a geração de um novo elemento é dependente da existência dos outros.



Fig. 26 – Legibilidade formal. Independente do nível de complexidade formal resultante da combinação dos diversos elementos geométricos, a forma é legível e tangível. A cumplicidade entre os elementos é tal, que parecem inseparáveis.

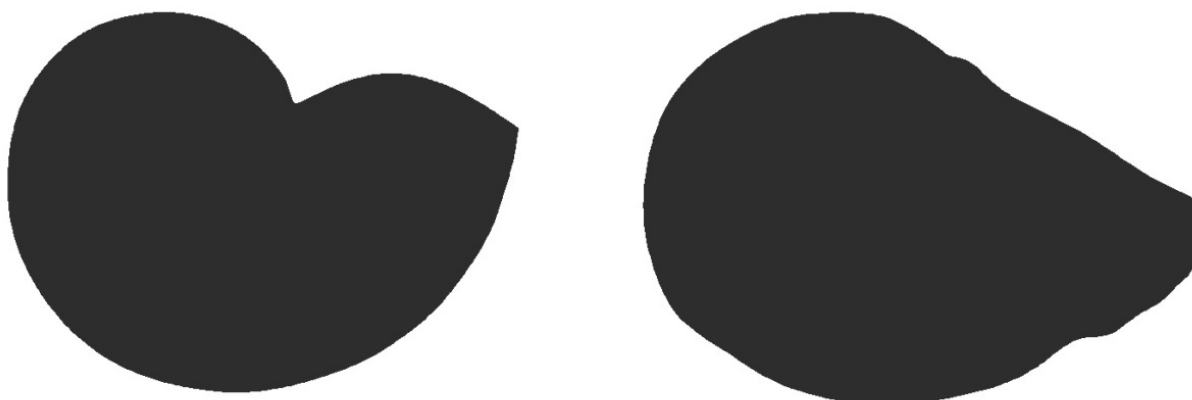


Fig. 27 – Simplicidade.

Tanto a composição formal da concha (esq.) , bem como a composição formal de todo o organismo (dir.) são formas simples e de fácil leitura.

15 – Sem separação

A estrutura é distinta da envolvente e coerente com as restantes estruturas orgânicas e inorgânicas que a povoam. Tem um carácter morfológico próprio e com regras próprias, no entanto, este permite uma fácil capacidade de encaixe com a envolvente. Esta capacidade, em muito deve às

variações geométricas da forma. As suas irregularidades permitem que a envolvente penetre na forma a diferentes profundidades. É esta irregularidade espacial que cria pontos de ligação entre forma e envolvente, tornando-a presa e inseparável na mesma (fig. 28).



Fig. 28 – Coerência estrutural.
Apesar de ter uma forma distinta da envolvente, as suas irregularidades criam pontos de união com a mesma, gerando assim, uma ligação por coerência de difícil separação.

Conclusão

A composição geométrica do Nautilus, responde positivamente a todas as características geométricas sugeridas por Alexander, para medir o nível de vida nas estruturas humanas. Portanto, esta análise comprova o facto defendido pelo autor. As estruturas vivas, possuem no seu substrato físico, todas as características geométricas a operar em simultâneo, sendo estas responsáveis pela espontânea capacidade de integração física das mesmas com a envolvente.

















	Níveis de escala	Centros fortes	Limites	Repetição alternada	Espaço positivo	Boa forma	Simetrias locais	Ligação profunda	Contraste	Gradientes	Rugosidade	Ecos	Ovazio	Simplicidade	Sem separação
															

Fig. 29 – Quadro resumo da análise.

ANÁLISE FORMAL A PARTIR DAS 15 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DAS ESTRUTURAS VIVAS AUERWORLD PALACE _ SANFTE STRUKTUREN

1 – Níveis de escala

A forma do edifício é compacta e fechada. Essa aparência ao jogo de proporções existente entre os elementos que a compõem. Os saltos proporcionais entre os elementos adjacentes situam-se dentro dos limites definidos por Alexander, rondando valores aproximados a 1/2 e o dobro (fig. 1 e 2). O resultado é uma forma que aparenta um crescimento gradual e coeso a partir de um centro. Não apresenta rotura ou quebra formal por desproporção exagerada entre os elementos geométricos.

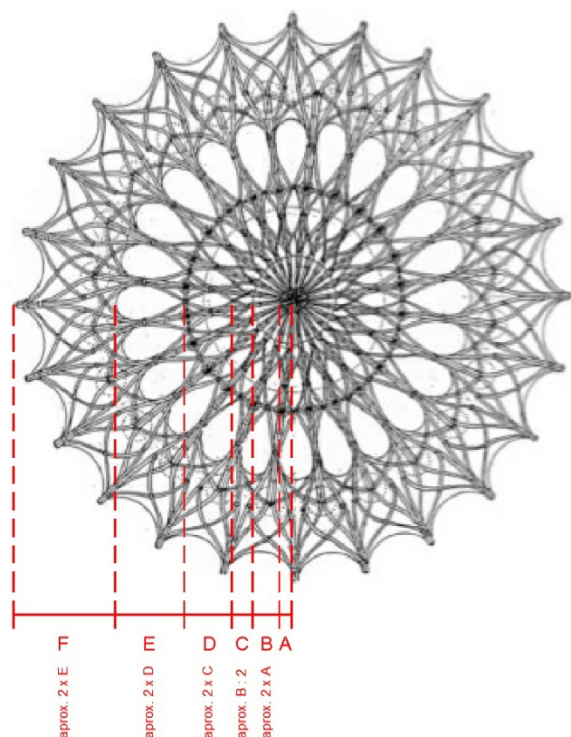


Fig. 30 – Níveis de escala em planta. O jogo de proporções entre os “anéis” de crescimento, rondam valores aproximados da metade ou do dobro do anel das formas que lhe são adjacentes.

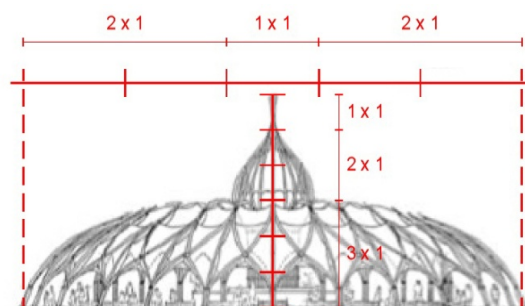


Fig. 31 – Níveis de escala em alçado. Este tipo de proporção manifesta-se nas diversas representações gráficas da forma. Neste alçado, a relação proporcional entre os elementos de maior destaque, respeitam os mesmos valores proporcionais da representação em planta (metade ou o dobro do elemento adjacente).

2 – Centro forte

A forma possui um campo vetorial. A partir de qualquer ponto da composição, o olhar, é direcionado para uma zona em pausa da composição, ou seja, para um centro (fig. 3). Esse efeito é o resultado da combinação dos seguintes fatores: a sucessiva e constante gradação de escala de alguns dos seus elementos, a própria geometria dos elementos estruturais com formato de “gota” ou “seta” e o alinhamento dos mesmos no espaço. Mas não só. Por tratar-se de uma forma com simetria

radial, a sucessiva gradação dos elementos, cria um conjunto de anéis que vão aumentando de gradação à medida que se afastam do centro. Estes ajudam também, a intensificar a presença do mesmo (fig. 4).

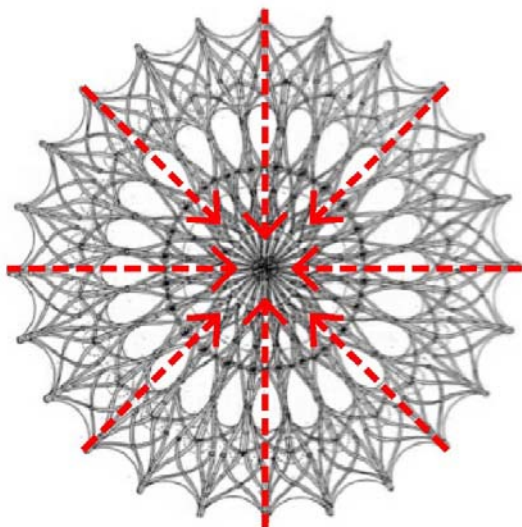


Fig. 32 – Campo vetorial da composição geométrica. O olhar é direccionado para o centro da composição, qualquer que seja o ponto fixo na mesma.

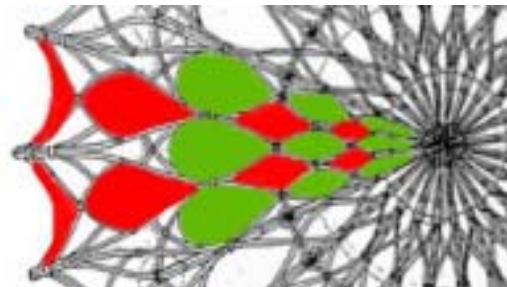


Fig. 33 – Campo de forças _ fatores. O tipo de geometria dos elementos, a sua cadência proporcional e o posicionamento dos mesmos no espaço, intensificam um ponto da composição onde a mesma atinge um momento de pausa.

3 –Limites

Os limites são uma zona sólida com propriedades e formas próprias, que delimitam dois fenómenos distintos. A função do limite é unir e separar a envolvente do centro. Para tal, os limites têm que ser diferentes e separados do centro e da envolvente, mas devem conter elementos de ambos. Contudo, para que o limite cumpra a sua função, é fundamental que este e o centro se manifestem na mesma ordem de magnitude. Este facto ocorre na composição geométrica do Auerworld Palace. A ordem de grandeza do centro repete-se em toda a envoltória do mesmo, criando uma massa geométrica que separa claramente o centro da envolvente (fig. 5).

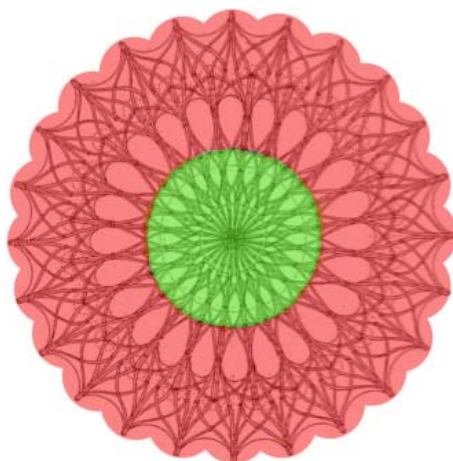


Fig. 34 – Centro e limite com a mesma ordem de magnitude.

4 – Repetição alternada

Apesar dos elementos que constituem a forma apresentarem uma grande variedade de formas similares, a construção da mesma está assente na repetição alternada de dois conjuntos de formas distintas (fig. 6). No entanto, o modo como a representação desta característica é feita no desenho geométrico, retira-lhe a sua principal contribuição geométrica, a sensação de oscilação. Isto sucede porque a representação geométrica da forma é extremamente exata. Contudo, o objeto construído segundo esta idealização geométrica, não apresenta essa rigidez e apresenta efeito de oscilação (fig. 7). A emergência desta qualidade na composição está diretamente relacionada com matéria com que é construída. A matéria é constituída por estruturas vivas. Apesar de constrangidas a uma imposição formal, mantêm o seu próprio mecanismo de crescimento de acordo com as suas regras de geração, fortemente caracterizadas pela irregularidade.

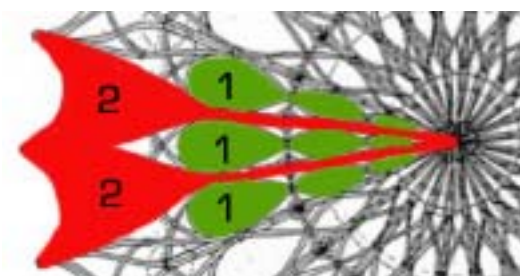


Fig. 35 – Exemplo dos dois conjuntos de elementos estruturais dispostos alternadamente pela simetria radial da composição.



Fig. 36 – O efeito de oscilação da forma, provocada pela repetição alternada de elementos com variação formal e posicional, segundo uma idealização geométrica exata.

5 – Espaço positivo

O tipo de composição geométrica presente na forma deste caso de estudo, requer que esta característica geométrica seja analisada atenciosamente. À primeira vista, todos os seus elementos são compostos por formas fechadas, bem delimitadas e perfeitamente distinguíveis das formas adjacentes. No entanto, existe uma particularidade na composição geométrica que abrange a maioria dos elementos estruturais. As suas formas não são sustentadas em si próprias. O espaço que

confinam é partilhado com outra forma (fig. 8, 9 e 10). Este tipo de partilha, é uma qualidade emergente aquando da intersecção de elementos. Por mais simples que seja a intersecção, a continuidade da forma original é quebrada. Essa quebra origina a criação de outras formas que lhes são totalmente dependentes, pois resultam de partes que lhes eram exclusivas. Assim sendo, se as propriedades desses elementos não advêm da própria forma, então estas não possuem espaço positivo. As formas têm que mostrar que existem por elas e sem qualquer tipo de dependência formal. Portanto, perante esta particularidade, poucas são as componentes da composição geométrica que detêm espaço positivo. Os elementos estruturais a verde da figura 11 são a exceção. Apesar da sua geometria estar na base da origem de outros elementos, estes são fechados em si e têm as suas regras. São os outros elementos que se servem das suas regras para existir e não o contrário.

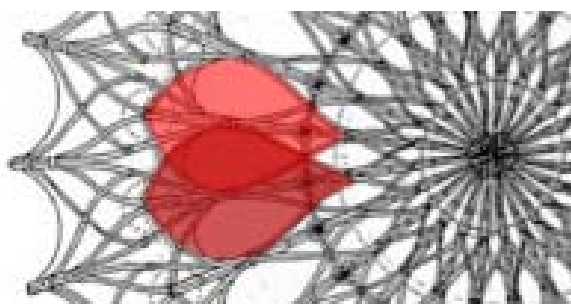


Fig. 37 – Exemplo de elementos semelhantes, fechados e sobrepostos. A intersecção dos mesmos produz um outro totalmente dependente da existência dos dois que o originam.

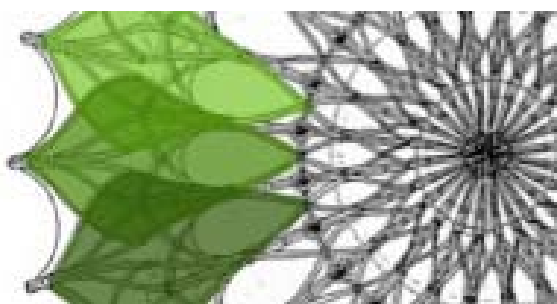


Fig. 38 – Outro exemplo de elementos semelhantes, fechados e sobrepostos. A sobreposição dos mesmos, origina outros elementos que partilham partes dos elementos originais.

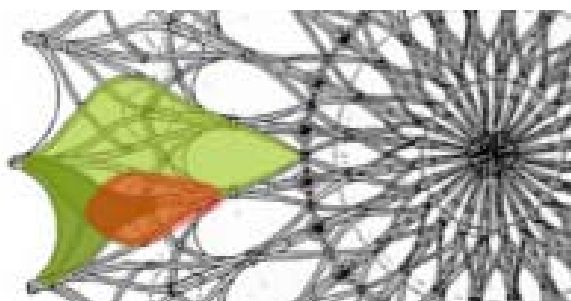


Fig. 39 – Exemplo de sobreposição de três elementos distintos. A intersecção gera inúmeros elementos, totalmente dependentes da existência dos iniciais.

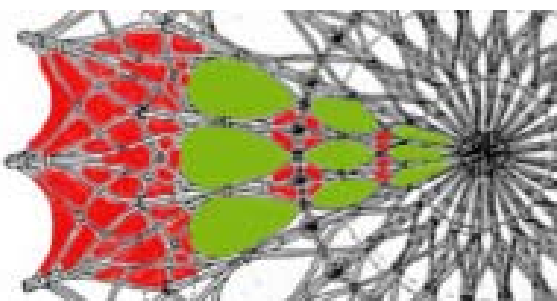


Fig. 40 – Diferenciação entre elementos estruturais com espaço positivo (verde) e sem espaço positivo (vermelho).

6 – Boa forma

A composição não detém a qualidade geométrica da boa forma, pois não responde positivamente a dois dos sete parâmetros (item 4 e 7) que Alexander delineou como fundamentais para emergência da característica numa estrutura viva.

1 – A perfeita simetria radial da forma, demonstra que a mesma é constituída por um vasto conjunto de simetrias internas;

2 - Apesar da simetria radial, todas as formas que a compõem são de simetria bilateral;

3 – O centro é bem definido e neste caso, coincidente com o centro da forma (ver ponto 2. Centros fortes centers e ponto 3. limites);

4 - O espaço positivo, não é cumprido na íntegra na composição, pelo facto de muitos dos seus elementos resultarem da intersecção de outros (ver ponto 5. Espaço positivo);

5 - A forma é distinta da envolvente que a rodeia, mas perfeitamente ligada à mesma (ver ponto 15. Sem separação);

6 - É compacta e responde às proporções formais descritas no ponto 1 (níveis de escala);

7 - É uma forma fechada, mas não é completa. A sua geração por intersecção de elementos não lhe confere simplicidade (ver ponto 5. Espaço positivo e o ponto 14. Simplicidade e calma interior).

7 – Simetrias locais

A representação formal idealizada para o edifício assenta numa composição geométrica por simetria radial exata. Quanto aos elementos que a compõem, têm uma composição geométrica assente em simetrias bilaterais também exatas (fig. 12). A ausência de variações formais nos elementos copiados, não é propícia ao aparecimento de formas com simetrias locais. Contudo, apesar da ausência de simetrias locais no plano geométrico, estas manifestam-se no objeto construído. A razão para tal é em tudo idêntica à fundamentada no ponto 4 (repetição alternada) ou seja, o tipo de matéria. O crescimento dos ramos não é uniforme, o que por si só desponta o aparecimento de irregularidades. Essas irregularidades, mantêm a simetria bilateral dos elementos, no entanto retira-lhes exatidão. Isto significa, que as simetrias dos elementos do objeto deixam de ser iguais, para ser semelhantes. Portanto, possuem simetrias locais (fig. 13).

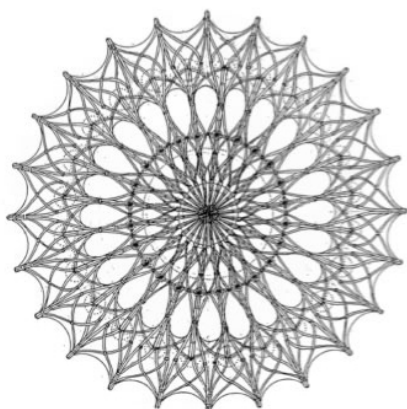


Fig. 41 – Ausência de simetrias locais na configuração geométrica em planta. A representação geométrica da composição é exata. Todos os elementos repetidos são cópias perfeitas de elementos com simetrias exatas.



Fig. 42 – Simetrias locais no objeto construído. As simetrias bilaterais dos elementos estruturais são irregulares e sem repetição de ângulos internos.

8 – Ambiguidade e ligação profunda

Na composição em análise, a ligação da forma à envolvente é feita por ambiguidade. Estas sobrepõem-se dentro do limite da forma, criando uma sensação de fusão. Essa fusão vai perdendo intensidade à medida que se aproxima do centro, sendo mesmo interrompida por este (fig. 14 e 15).



Fig. 43 – Exemplo de uma ligação à envolvente por ambiguidade. Os elementos da forma e a envolvente coexistem no limite da mesma, através de uma gradação de elementos, mais intensa junto ao centro e mais aberta na periferia do limite.



Fig. 44 – Unicidade do centro. O centro nega a presença da envolvente na sua forma.

9 – Contraste

O contraste predominante na delimitação de elementos é a oposição entre cheio e vazio, ou seja, presença de matéria e ausência de matéria (fig. 16).



Fig. 45 – A diferenciação das formas dos elementos pela oposição cheio / vazio.

10 – Gradientes

O tipo de crescimento por simetria radial adotado pela composição, ajuda a perceber a progressiva variação da proporção dos seus elementos do limite para o centro. Sempre que os elementos estruturais sofrem um aumento proporcional dentro dos parâmetros descritos no ponto 1, surge um nível de gradiente. Neste caso, os diversos níveis de gradientes aumentam sempre do

centro para o limite. Esta sucessiva gradação proporcional dos elementos, intensifica a presença do centro mediante a geração de um campo de forças que direciona o olhar para o centro da forma (fig. 17).

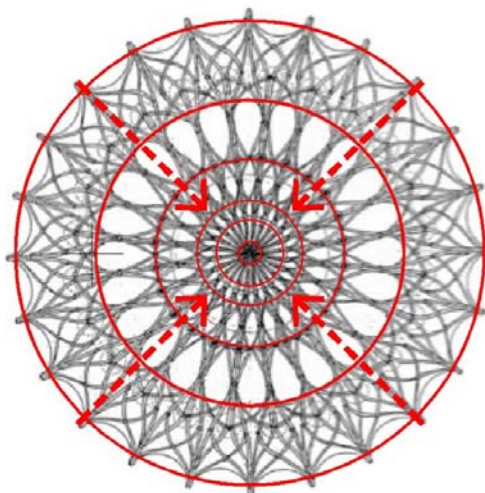


Fig. 46 - Níveis de gradação da composição, tendo como referência a variação na proporção dos elementos. O aumento progressivo dos níveis a partir do centro, cria um de campo de forças que intensifica a presença do centro.

11 – Rugosidade

A sensação de rugosidade ao nível da representação gráfica (planta e alçado) é praticamente nula. A frequente tendência humana pela perfeita representação da simetria, anula o aparecimento desta característica. O resultado é uma composição geométrica monótona e sem expressividade. No entanto, apesar da ausência de expressividade a nível da representação gráfica, esta encontra-se presente no modelo construído. A razão é semelhante à descrita nos pontos 4 e 7. A matéria do objeto é um organismo vivo moldado a uma forma rígida, mas o crescimento dos inúmeros troncos que a desenham têm as suas próprias regras de composição. Todos têm um crescimento diferente, o que implica que as formas não vão ser exatamente como o desenhado, mas sim, um conjunto de aproximações a essa forma. E é dessa irregularidade espontânea e incontrolável, provocada pelo crescimento, que nasce a rugosidade. Apesar da similaridade, nenhum elemento é igual e em conjunto emanam a sensação de rugosidade típica das estruturas vivas (fig. 18).



Fig. 47 – A expressividade causada pelas inúmeras irregularidades das formas, criam em conjunto, uma sensação de rugosidade.

12 – Ecos

As formas dos elementos têm a mesma familiaridade geométrica. A curva e as ondas são os elementos geométricos predominantes. A constante repetição deste tipo de similaridade formal por toda a forma produz uma sensação de interligação profunda entre todas as componentes que a compõem. Nenhum elemento parece forçado a existir na forma. Tudo está relacionado com algo (fig. 19).

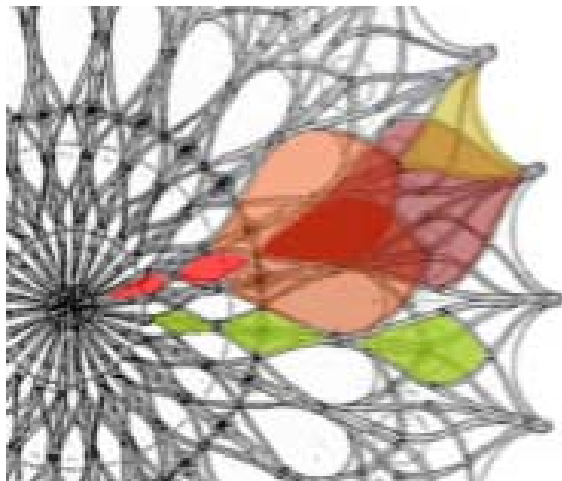


Fig. 48 - Caracterização morfológica da composição.
A configuração geométrica dos elementos são bastante similares, ou seja, pertencem à mesma família de ângulos.

13 – O vazio

O vazio da forma situa-se na mancha colorida assinalada na figura abaixo. O salto proporcional de um dos elementos do centro cria uma zona mais tranquila, quando comparada com o distúrbio geométrico presente no centro e no extremo do limite (fig. 20). Neste caso, o vazio intensifica a presença do centro e faz a separação deste com o limite.

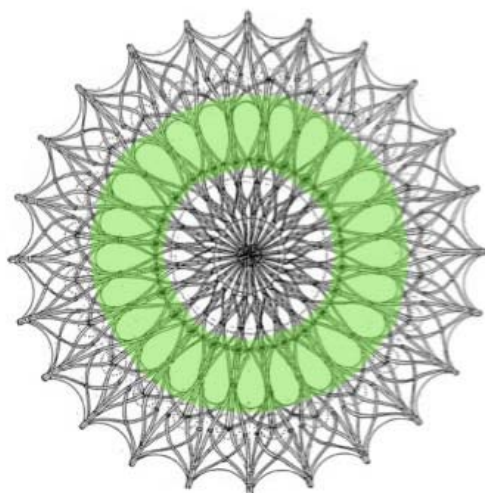


Fig. 49 - A zona calma da forma _ vazio.

14 – Simplicidade e calma interior

A composição geométrica em planta e alçado é simples (fig. 21). Esta detém uma configuração compacta, fechada e bem proporcionada (ver ponto 1), mas não revela calma interior. A configuração por intersecção, produz elementos que não são necessários, ou não fazem falta à solidez dessa composição, ou seja, estão a mais. Portanto, enquanto houver formas desnecessárias à realização geométrica do objeto, este não revela calma interior (fig. 22 e 23).

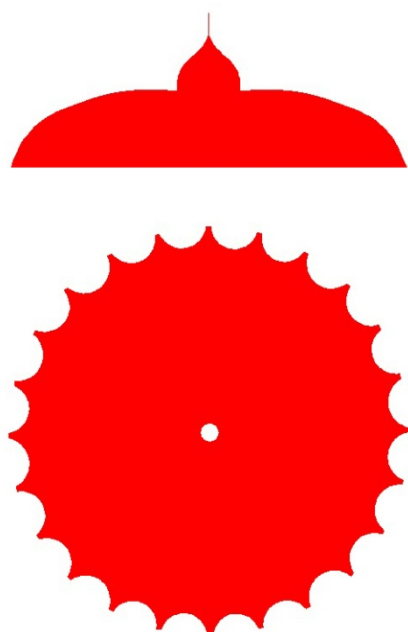


Fig. 50 – Simplicidade. A composição geométrica, tanto em planta como em alçado, apresenta simplicidade formal.

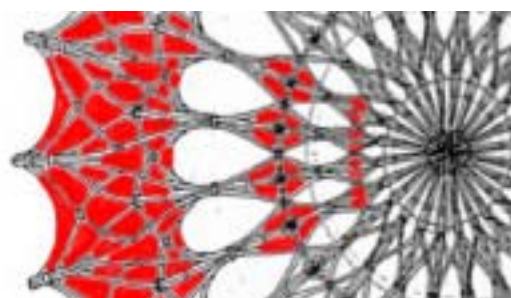


Fig. 51 – Ausência de calma interior. A vermelho estão assinaladas as zonas da composição sem calma interna. São as zonas constituídas por formas desnecessárias à solidez da composição por resultarem de partes de outras formas.

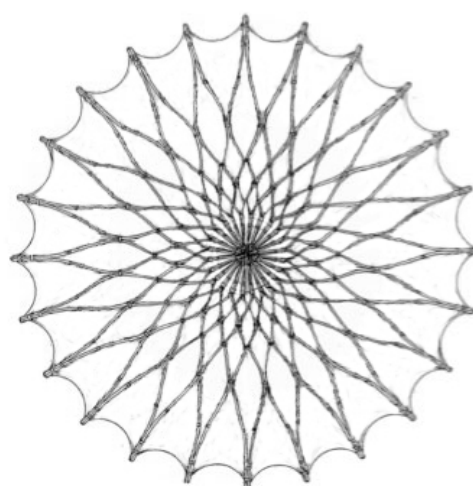
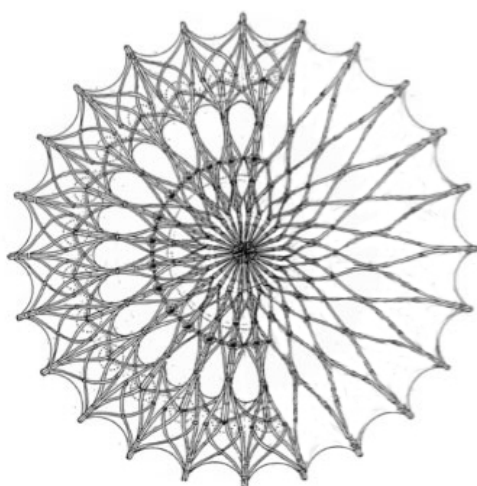


Fig. 52 – A composição geométrica sem os elementos desnecessários à manutenção da unidade (dir.).

15 – Sem separação

A forma funde-se com a envolvente, mas é facilmente distinguível da mesma. O modo como a composição se desfragmenta do centro até ao limite, permite que a envolvente invada gradualmente a composição, sem a existência de fronteiras claras e rígidas entre forma e envolvente. Portanto, a inclusão da forma na envolvente, é obtida pelo modo como esta participa na composição sem destruir a unidade física da mesma. E quanto mais a envolvente participar na forma, mais agarrada fica à envolvente (fig. 24 e 25).



Fig. 53 - Fusão entre envolvente e forma _ vista aérea.



Fig. 54 – Coerência formal. A fusão com a envolvente é obtida através de uma forma perfeitamente distinguível, mas em coerência com as outras que a rodeiam.

Conclusão

A composição geométrica do Auerworld Palace, responde positivamente a doze das quinze características geométricas sugeridas por Alexander, para medir o nível de vida nas estruturas humanas (fig. 26). Face a este resultado, pode-se deduzir que esta estrutura, em termos de essência geométrica, detém um elevado grau de vida. Portanto, segundo as ideias defendidas pelo autor, está-se perante uma estrutura com forte capacidade de integração física na envolvente ambiental.

	Níveis de escala	Centros fortes	Limites	Repetição alternada	Espaço positivo	Boa forma	Simetrias locais	Ligação profunda	Contraste	Gradientes	Rugosidade	Ecos	Ovazio	Simplicidade	Sem separação
	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Fig. 55 – Quadro resumo da análise.

ANÁLISE FORMAL A PARTIR DAS 15 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DAS ESTRUTURAS VIVAS CATEDRAL DE BRASÍLIA _ OSCAR NIEMEYER

1 – Níveis de escala

A composição dos diversos elementos estruturais, geram uma forma compacta e coesa. Esta harmonia em muito se deve aos saltos de proporção existentes entre os diversos elementos. A fig.1, demonstra que a composição geométrica detém uma harmonia proporcional entre elementos que não excede os limites definidos por Alexander. A altura do elemento superior, é metade da altura do elemento inferior. Quanto à largura, o elemento superior tem 1/3 da largura do elemento inferior. Este tipo de relação, também existe entre os diversos elementos que compõem a estrutura. As superfícies triangulares vidradas (C) têm um salto de proporção de 4x entre si. A mesma proporção, também é aplicada no espaço que separa os elementos estruturais (fig.2). O espaçamento existente entre dois elementos estruturais é o quádruplo da dimensão do elemento estrutural.

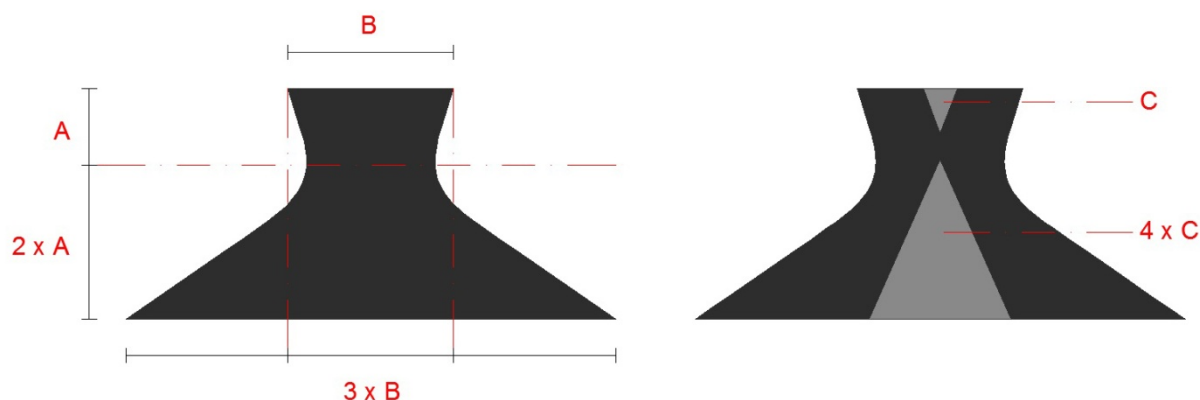


Fig. 56 – Níveis de escala em alçado.

As relações proporcionais entre os elementos da forma, não ultrapassa o quádruplo ou um quarto da forma ou formas adjacentes

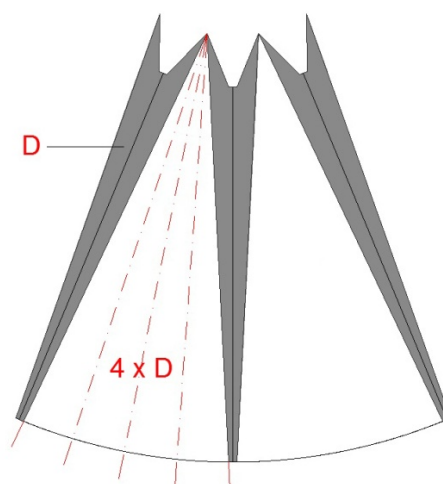


Fig. 57 – Níveis de escala em elementos estruturais.

O compasso entre os elementos estruturais é o quádruplo da sua dimensão.

2 – Centro forte

Existe um campo vetorial para o qual o olhar é sempre direccionado. Este situa-se no ponto de união dos elementos estruturais triangulares. Portanto, mediante este facto, poder-se-ia afirmar que a forma tem um centro forte. A verdade é que este existe, mas não a 100%. Este perde um pouco da sua força com a colocação de um elemento circular na sua vizinhança. Este elemento cria um pequeno distúrbio visual, pois em vez de fortalecer a presença do centro, retira-lhe um pouco da sua força (fig. 3 e 4).

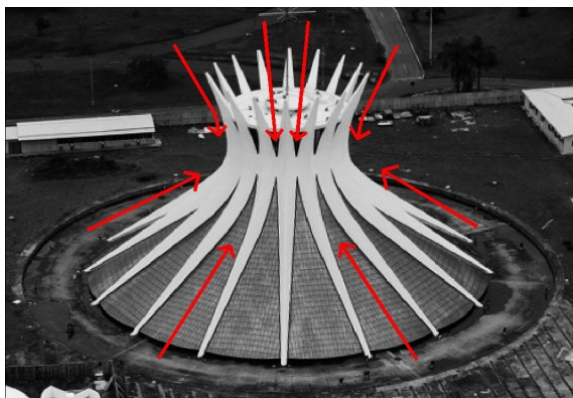


Fig. 58 - Centro forte. A configuração e distribuição dos diversos elementos geométricos cria um campo de forças que direciona sempre o olhar para uma zona específica da forma.

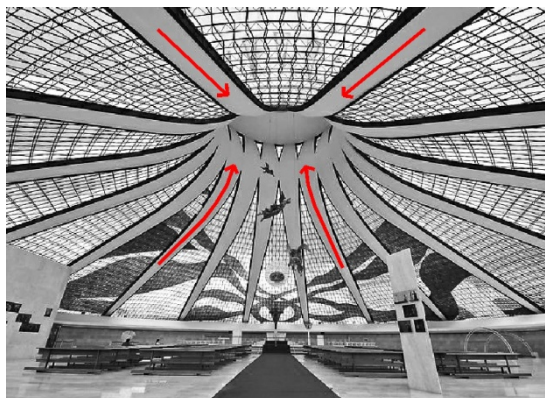


Fig. 59 - Perturbação estrutural. O campo de forças é perturbado pela existência de um elemento geométrico circular. Este disputa a atenção do centro forte, pelo simples facto de não contribuir para a sua valorização.

3 –Limites

A forma tem uma zona sólida de transição que une e separa o centro da envolvente. O limite tem aproximadamente a mesma ordem de grandeza do centro e é composto por elementos do centro, elementos da envolvente e por elementos próprios. (fig. 5).

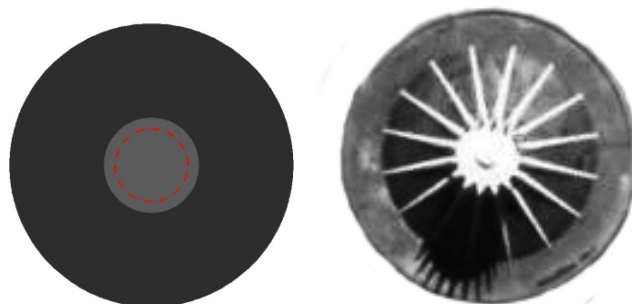


Fig. 60 – Centro e limite têm aproximadamente a mesma ordem de magnitude.

4 – Repetição alternada

A composição geométrica da forma, resulta de uma alternância sucessiva entre dois tipos de elementos geométricos distintos. Neste caso, o elemento estrutural 1 (fig. 7) assume uma clara preponderância sobre o elemento estrutural 2. Contudo, apesar desta característica estar presente na composição geométrica, esta não produz o efeito de oscilação típico das existências vivas. Porquê? Porque a forma tem uma composição geométrica exata (fig. 6). Os elementos são alternadamente iguais, repetindo os mesmos ângulos e o mesmo compasso. Face a tantas variáveis exatas, é natural que um efeito que requer variação formal e posicional, não se manifeste na forma.



Fig. 61 – Regularidade geométrica. A composição é geometricamente exata, desde a configuração dos seus elementos à sua distribuição no espaço.

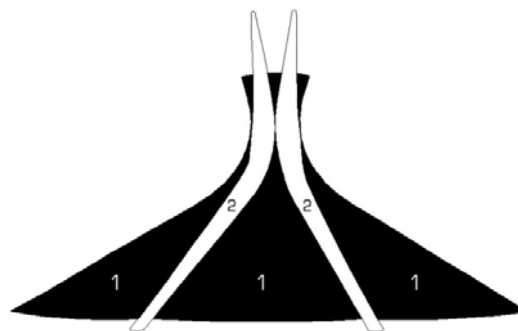


Fig. 62 - Cadência de elementos estruturais. Identificação dos dois tipos de elementos, repetidos alternadamente ao longo da composição através de um eixo de simetria.

5 – Espaço positivo

A forma é maioritariamente constituída por elementos geométricos com espaço positivo. As formas são fechadas, com limites bem definidos e distintas das outras que lhes são adjacentes (fig. 8 e 9).



Fig. 63 – Caracterização geométrica dos elementos. As formas são fechadas, com limites bem definidos e totalmente independentes das que lhes rodeiam.

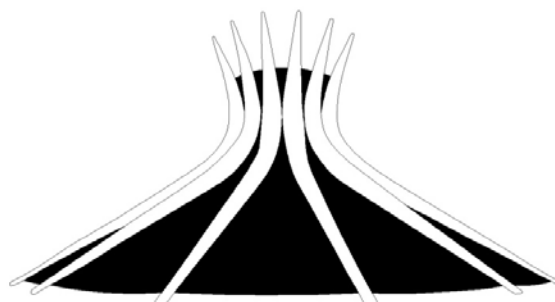


Fig. 64 – Legibilidade dos elementos. Facilidade em circunscrever todos os elementos geométricos da forma

6 – Boa forma

A composição geométrica não detém boa forma. Este não responde positivamente a 4 dos sete parâmetros (item 1, 3, 5 e 7) definidos por Alexander.

1 - tem um alto grau de simetrias internas;

Os elementos estruturais, não têm um alto grau de simetrias internas. Estes são simetricamente exatos (ver ponto 7 – Simetrias locais).

2 - é quase sempre definida por uma simetria bilateral;

A composição geométrica, é gerada através de simetria radial exata e os seus elementos geométricos, por simetria bilateral também exata (ver ponto 7 – Simetrias locais).

3 - tem um centro bem definido, que não necessita de ser o centro geométrico da forma;

A estrutura tem um centro definido, contudo este é perturbado de um outro elemento. Esta perturbação retira-lhe presença e desequilibra a composição.(ver ponto 2 – Centro forte)

4 - tem espaço positivo;

Os elementos estruturais têm espaço positivo. Estes são totalmente distinguíveis e com limites bem definidos (ver ponto 4 – Espaço positivo).

5 - são fortemente distintas daquilo que a rodeia;

A composição geométrica é distinta do que a rodeia, mas não demonstra capacidade para se agarrar profundamente à envolvente. Os seus limites são rígidos e impõem-se como uma barreira (ver ponto 8 – Ambiguidade e ligação profunda e o ponto 15 – Sem separação).

6 - são relativamente compactas, dentro das proporções dos níveis de escala (1:1, 1:2, 1:4);

A estrutura é compacta de acordo com as proporções de harmonia estabelecidas por Alexander. A harmonia proporcional, também se estende aos elementos geométricos que compõem a forma (ver ponto 1- Níveis de escala).

7 - são formas fechadas que transmitem a sensação que estão completas.

A composição geométrica é simples e compacta. Contudo, não pode ser considerada uma forma completa por ter elementos estruturais desnecessários à sua unidade formal (elemento circular na cobertura) (ver ponto 14 – Simplicidade e clama interior).

7 – Simetrias locais

A composição geométrica não detém simetrias locais. Esta é gerada a partir de uma simetria radial exata. Isto significa, que os diversos elementos geométricos que a constituem são dispostos e repetidos ao longo de um eixo radial sempre com o mesmo compasso e sem qualquer tipo de irregularidade espacial (posição, dimensão) (fig. 10 e 11). A composição é estruturada mediante simetria bilateral, também exata. A ausência de simetrias locais, estende-se também aos elementos estruturais, revelando também estes, regularidade na sua simetria bilateral (fig. 12 e 13).



Fig. 65 – Composição geométrica por simetria exata (bilateral e radial). Ausência de irregularidades geométricas, quer na forma geral, quer na forma dos elementos geométricos que a constituem.

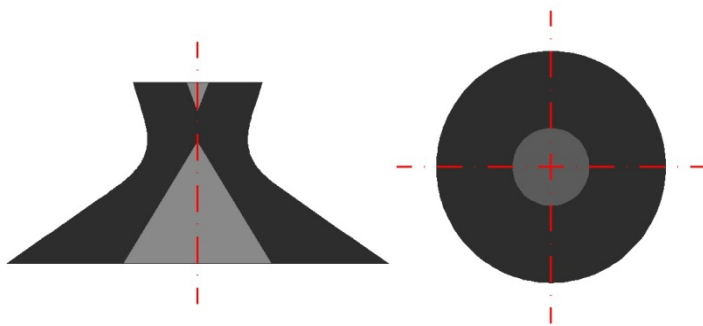


Fig. 66 - Simetria bilateral exata do alçado (esq.) e simetria radial exata da planta (dir.).

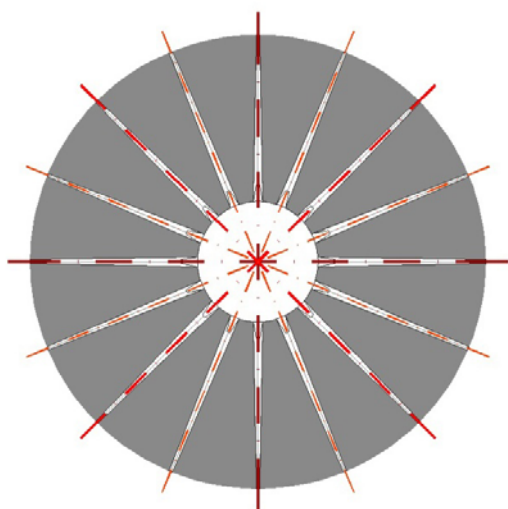


Fig. 67 – Repetição exata dos elementos geométricos da forma mediante um eixo de simetria radial.

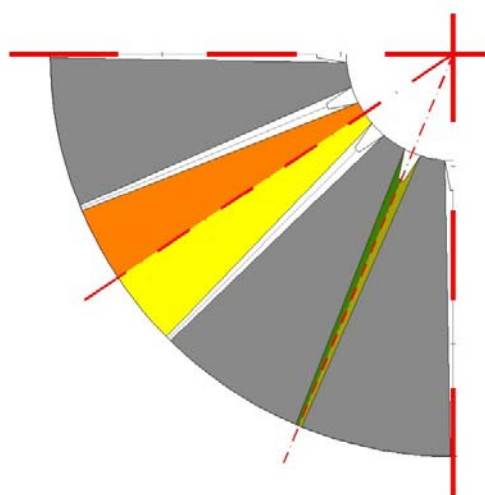


Fig. 68 - Simetria dos elementos estruturais. Os elementos geométricos que constituem a forma apresentam simetrias bilaterais exatas.

8 – Ambiguidade e ligação profunda

A ligação à envolvente, procura realizar-se por ambiguidade, mas sem sucesso. A estrutura procura agarrar-se à envolvente, quer pela irregularidade curvilínea dos seus elementos, quer pelo relevo criado entre estas. Contudo, estas ligações revelam possuir pouca intensidade. Estas não são irregulares entre si e o próprio limite de expansão dos elementos é imposta por uma forma de controlo expansivo oculta (fig. 16). Portanto, como as pequenas irregularidades são mínimas face à extrema regularidade da composição, o resultado é uma estrutura com pouco “atrito” na envolvente (fig. 14 e 15).



Fig. 69 – Pontos de ligação. Os elementos curvilíneos e a produção de relevo entre os elementos, são soluções que permitem à forma criar pontos de ligação com a envolvente.



Fig. 70 – Conexão entre forma e envolvente. Os elementos estruturais e a envolvente sobrepõem-se através de um efeito de gradação bidirecional.

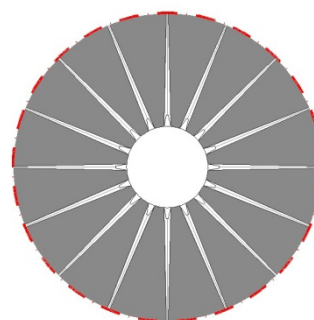


Fig. 71 – Imposição estrutural. A expansão dos limites é imposta por uma forma circular oculta (tracejado vermelho).

9 – Contraste

A composição é gerada através da repetição alternada de formas geometricamente similares e são perfeitamente diferenciáveis através da oposição claro/escuro (fig. 17).



Fig. 72 – Contraste com oposição claro (elementos brancos de betão) e escuro (elementos a negro de vidro).

10 – Gradientes

Existem dois tipos de gradientes na composição: gradientes por salto proporcional e gradientes por continuidade linear. Os gradientes por salto proporcional encontram-se nas superfícies triangulares envidraçadas. A cadência proporcional cria uma direção que acentua o sentido para o centro. Os gradientes por continuidade linear (elementos estruturais brancos) também partilham esta qualidade. Neles, a direção é estabelecida pela rígida e longa extensão dos elementos estruturais. Por sua vez, a acentuação do campo visual no sentido do centro forte, é conseguido por um estreitamento gradual e uniforme da forma, do centro para os limites (fig. 18 e 19).



Fig. 73 – Gradientes e centro forte. O jogo de proporção entre elementos similares origina um campo de forças que direciona o olhar para o centro da composição.



Fig. 74 – Gradientes por continuidade linear (esq.) e gradientes por salto proporcional (dir.).

11 – Rugosidade

O efeito de rugosidade não existe na forma. A não emergência desta qualidade, deve-se à ausência de irregularidades geométricas nos elementos estruturais e à exatidão posicional dos mesmos na composição. Todos os elementos são cópias perfeitas de outros já existentes e não aproximações pela semelhança ou familiaridade. Além disso, os elementos são distribuídos ao longo da composição mediante um ritmo uniforme e constante. Tudo nela obedece a uma ordem mecânica, ao invés da espontaneidade aleatória típica do efeito de rugosidade. O resultado é uma forma rígida e pouco expressiva (fig. 20 e 21).

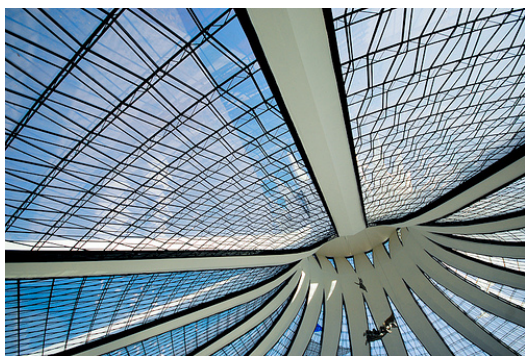


Fig. 75 – Ausência de rugosidade. A textura gerada pelos elementos geométricos da forma é monótona e pouco expressiva.



Fig. 76 – Ausência de irregularidades posicionais e proporcionais. Tudo na forma é demasiado perfeito e igual.

12 – Ecos

A composição geométrica é constituída por elementos estruturais familiares, (formas triangulares) que se repetem alternadamente mediante uma composição espacial de simetria radial (fig. 22). Assim sendo, poder-se-ia afirmar que todos os elementos estão relacionados, mas existe uma exceção. O elemento circular no topo da composição, nada tem de semelhante com qualquer um dos outros elementos (fig. 23). A distribuição dos elementos triangulares, por simetria radial, gera

uma forma circular. No entanto, essa forma não resulta de nenhum elemento circular. Portanto, esse elemento não se integra no caráter morfológico da composição.



Fig. 77 - Caráter morfológico em alçado. Os elementos visíveis são todos bastante similares e familiares (elementos triangulares).

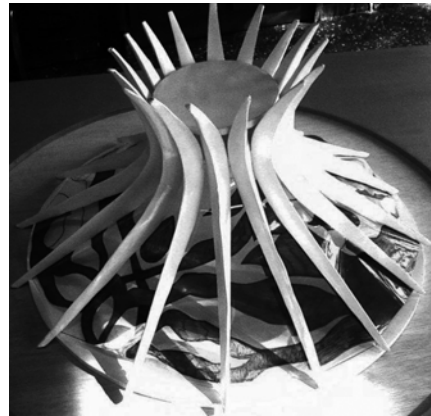


Fig. 78 - Perturbação morfológica. O elemento circular no topo não é similar ou familiar a qualquer um dos elementos geométricos que compõem a estrutura.

13 – O vazio

A sucessão alternada de distintos elementos geométricos confere distúrbio na composição. A repetição sistemática dos mesmos elementos, não produz na composição nenhuma zona distinta, onde impera a calma (fig. 24).



Fig. 79 - Zona homogênea da composição onde impera a calma e a tranquilidade.

14 – Simplicidade e calma interior

A composição por simetria radial exata gera uma forma circular pura que confere à estrutura uma grande simplicidade geométrica (fig. 26 e 27). No entanto, a simplicidade formal só é totalmente atingida se a estrutura possuir calma interior, ou seja, a composição tem que ser composta só pelos elementos geométricos necessários à manutenção da unidade formal. Tudo o que estiver a mais deve ser retirado. No caso em estudo, existe um elemento geométrico que retira a calma interior à composição, não permitindo que esta atinja o nível máximo de simplicidade. O elemento circular colocado no topo da estrutura, é um elemento invasivo (fig. 25). Nada tem a ver com o caráter morfológico da composição geométrica. Retirá-lo não destruirá a unidade. Apenas a tornaria mais simples, pois passaria a ser constituída apenas pelos elementos necessários à sua realização.

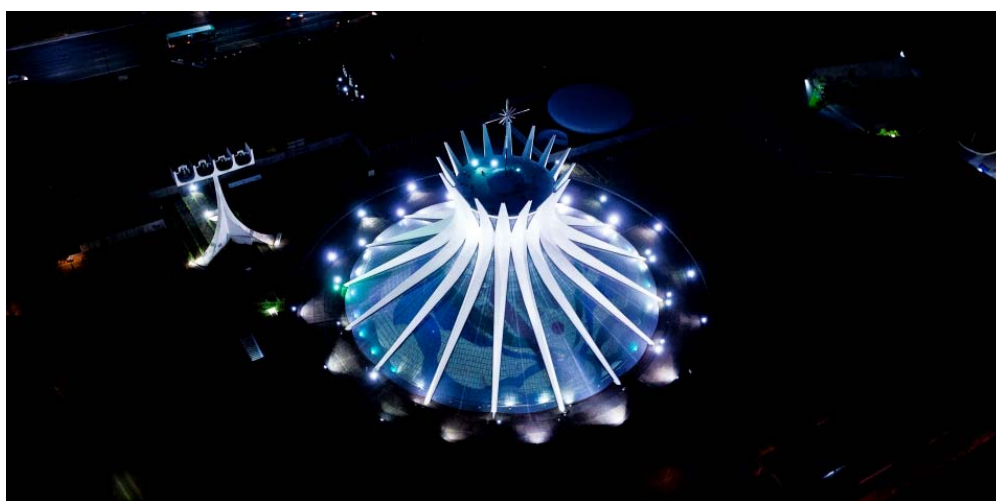


Fig. 80 – Perturbação estrutural.

O elemento circular anula a simplicidade da composição, já que esta só é verdadeiramente simples quando detém calma interior.



Fig. 81 - A simplicidade estrutural em alçado.

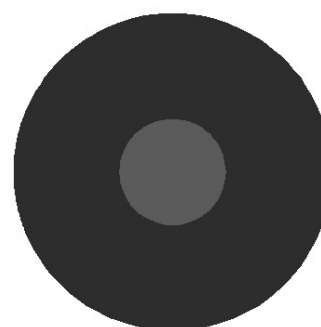


Fig. 82 – A simplicidade estrutural em planta.

15 – Sem separação

A estrutura é distinguível da envolvente, mas não se consegue fundir por completo na mesma. Existem irregularidades formais nos elementos que compõem o limite da mesma, como são exemplo a existência de relevo entre componentes e o uso de elementos curvilíneos. No entanto,

essas soluções geométricas são repetidas na perfeição uma e outra vez, fazendo com que as irregularidades se transformem em regularidades. O resultado é uma composição com alguma ambiguidade, mas ainda estática e monótona. Portanto, a regularidade não ajuda a unir, mas sim, a separar. Por essa razão, a composição, apesar de timidamente sinuosa, não aparenta ser extraída da envolvente (fig. 28 e 29).

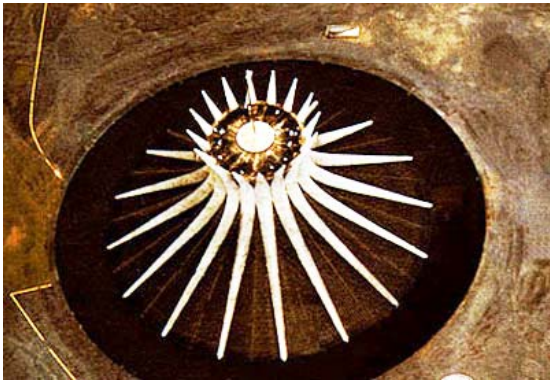


Fig. 83 - Incoerência geométrica com o padrão geométrico da envolvente. A perfeita regularidade geométrica com que os elementos são distribuídos no espaço, enrijece a estrutura, tirando-lhe capacidade de fusão com a envolvente.



Fig. 84 – Imposição espacial rígida. Apesar de sinuosa, a repetida regularidade estrutural dos seus elementos, reduzem o “atrito” da composição na envolvente.

Conclusão

A composição geométrica da Catedral de Brasília responde positivamente a sete das quinze características geométricas sugeridas por Alexander, para medir o nível de vida nas estruturas humanas (fig. 30). Face a este resultado, pode-se deduzir que esta estrutura, em termos de essência geométrica, detém um grau de vida mediano. Portanto, segundo as ideias defendidas pelo autor, está-se perante uma estrutura que detém uma mediana capacidade de integração física na envolvente ambiental.

















	Níveis de escala	Centros fortes	Limites	Repetição alternada	Espaço positivo	Boa forma	Simetrias locais	Ligação profunda	Contraste	Gradientes	Rugosidade	Ecos	Ovazio	Simplicidade	Sem separação
															

Fig. 85 – Quadro resumo da análise.

ANÁLISE FORMAL A PARTIR DAS 15 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DAS ESTRUTURAS VIVAS

LAR ALCÁCER DO SAL _ AIRES MATEUS

1 – Níveis de escala

Sendo a forma em questão, linear e fragmentada, os níveis de escala devem ser analisados através das proporções existentes entre os segmentos nos pontos de quebra de direcionalidade, como é o caso das plantas (fig. 1, 2 e 3), mas também nos intervalos de alternância dos elementos estruturais, como sucede nos alçados (fig. 4 e 5). Esta análise revelou que nem todos os elementos geométricos da composição têm relações de proporção harmoniosas com os elementos que os confinam. Face a esta evidência, os níveis de escala não atingem as qualidades geométricas requeridas para o efeito.

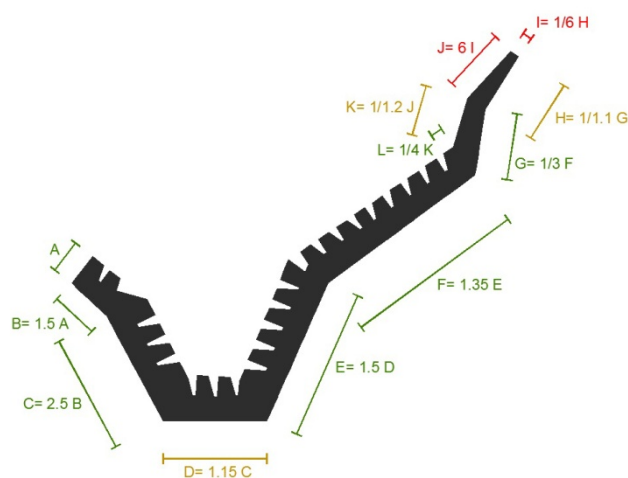


Fig. 86 – Relação proporcional entre a dimensão dos troços que constituem a composição geométrica. A maioria dos elementos, apresenta variações de proporção harmoniosas face aos que lhes estão adjacentes. No entanto, existem situações pontuais, em que essa relação proporcional não se enquadra dentro do intervalo harmonioso definido por Alexander. Ex. $I=1/6H$ e $J=6I$

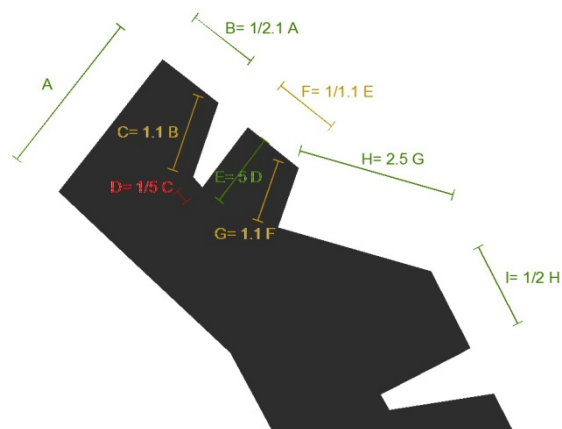


Fig. 87 – Variações proporcionais existentes ao longo do perfil da composição. Apesar da maioria dos troços revelarem relações de proporção harmoniosas com os elementos que o confinam, outros exemplos há, em que tal não acontece. Ex. $D=1/5C$

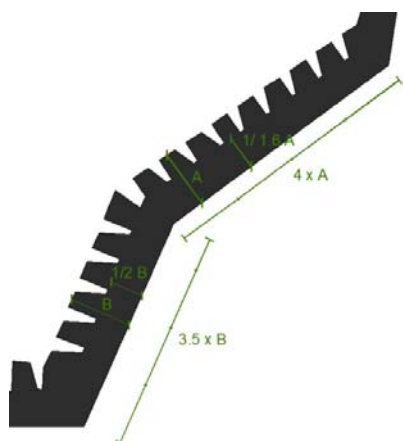


Fig. 88 – Relação proporcional dos diversos troços que constituem a configuração linear da composição. A largura dos corpos, apresentam uma ordem de grandeza dentro do intervalo de harmonia definido por Alexander, face ao respetivo comprimento.

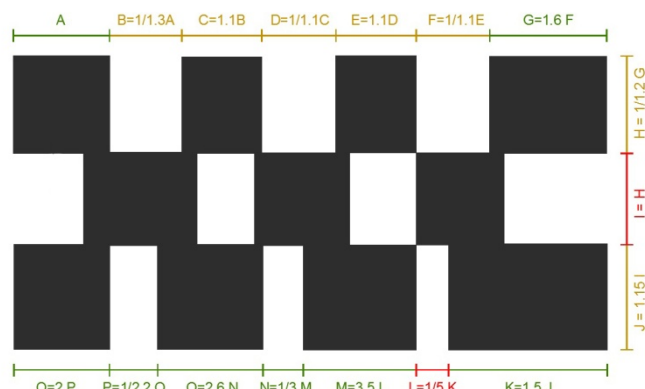


Fig. 89 – Variações de proporção no alçado. O espaço vazio entre dois elementos estruturais a cheio apresenta, na sua grande maioria, variações de proporção dentro do intervalo harmonioso definido por Alexander. Casos pontais existem em que essa ordem de grandeza entre dois elementos adjacentes, não se apresenta dentro do mesmo intervalo. Ex. $L=1/5K$.

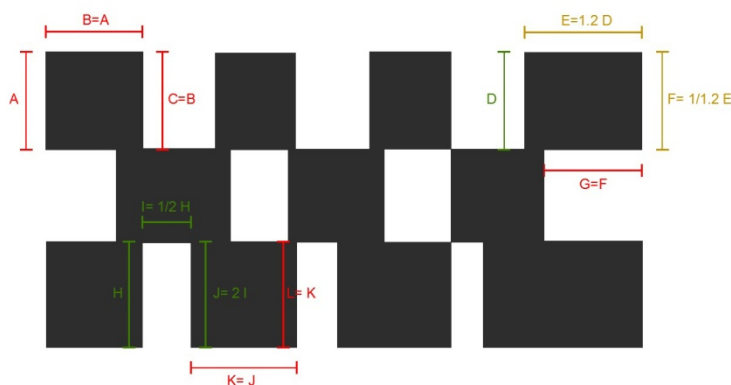


Fig. 90 – Variações de proporção no alçado. A relação proporcional dos elementos estruturais apresenta pequenas variações entre as suas dimensões.

2 – Centro forte

A composição geométrica, não apresenta nenhum acontecimento diferente para o qual se direcione toda a composição. Existe um hipotético campo de forças inerente ao tipo de forma idealizado, mas nada de distinto acontece na mesma (fig.6). Contudo, esse fugaz campo de forças não é único. Outros existem com menor intensidade e distintas direções (fig. 7). Portanto, se assim é, não existe um centro forte a partir do qual a composição se organize. Várias forças direcionais indicam que estão a trabalhar para diferentes propósitos não comuns, o que com maior ou menor intensidade, cria roturas na composição. O mesmo sucede na composição geométrica dos alçados. No alçado, não há qualquer tipo de campo de força que direcione o olhar. A proporção dos elementos, não assume qualquer tipo de gradação sequencial. Por vezes ela existe, mas é logo interrompida por um salto de gradação em sentido contrário, anulando qualquer tentativa de direcionamento visual (fig. 8 e 9).

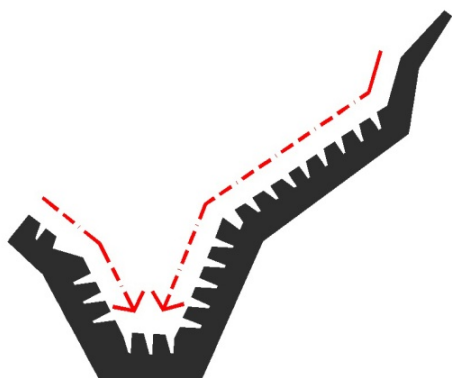


Fig. 91 – Campo de forças na forma idealizada.

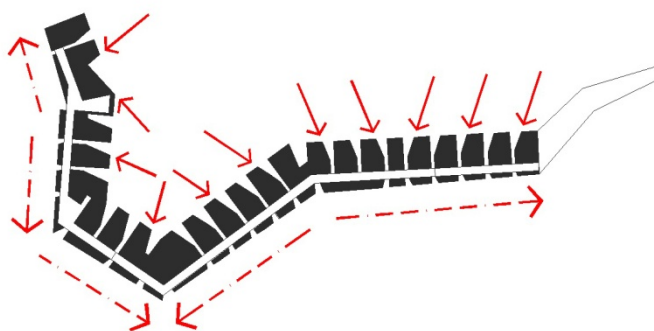


Fig. 92 – Os diferentes campos de força produzidos pelo efeito de gradação dos elementos estruturais. Nesta imagem, também é possível observar a homogênea sequência de acontecimentos formais produzida pelos elementos que a constituem. Não existe na composição, qualquer tipo de acontecimento geométrico diferenciado que unifique os diversos campos de força para um único propósito.



Fig. 93 - Ausência de campos de força. A composição geométrica do alçado, não impõe uma direção visual.



Fig. 94 - Ausência de campos de força. Neste caso, a composição geométrica do alçado produz um acontecimento marcante no centro, mas é anulado pelo efeito de gradação de dois campos de força opostos.

3 – Limites

A inexistência de um acontecimento geométrico distinto na composição (centro forte) não torna perceptível o que será o limite da composição de acordo com o conceito atribuído a esta característica geométrica. O limite existe para circunscrever um centro forte com um duplo propósito: focar a atenção para o centro através de um campo de forças, que é algo que não sucede na composição geométrica do edifício e unir o tal acontecimento distinto, ao mundo para além do limite. A inexistência de um centro forte faz com que nenhum destes requisitos se proporcione. A envolvente penetra na forma e quase que a atravessa. Só é travada pela existência de um longo corredor que não funciona como um centro forte, mas sim, como um elemento de ligação de formas estruturais soltas e sem qualquer outro tipo de relação existencial que a sua semelhança. Para além disso, não existem elementos similares ao corredor a criar um efeito de gradação com a envolvente. O limite de cada espaço é abrupto. Portanto, a composição geométrica não responde positivamente a nenhuma das qualidades geométricas do limite, tal como ele se define nas estruturas vivas.

4 – Repetição alternada

A composição geométrica da estrutura em causa, apresenta um ritmo alternado mediante uma oposição cheio/vazio entre elementos estruturais semelhantes, sem uma preponderância fixa de um desses ritmos. Apesar desta característica dominar a grande parte da composição, esta não incute o efeito de oscilação típico das estruturas vivas. Existe de facto, uma certa variação formal e posicional dos elementos repetidos, mas esses fatores não estão a gerar irregularidades na composição por duas razões. Primeiro os ângulos dos segmentos que formam o perímetro da forma são sempre iguais (fig. 10). Segundo, em cada “patamar” a proporção vertical é fixa o que impõe bastantes limitações a um livre e irregular posicionamento espacial (fig. 11). Portanto, o efeito de oscilação requer da repetição alternada características geométricas que não passa por semelhanças idênticas, nem por proporções, nem por limites de posicionamento fixos.



Fig. 95 – Ritmo alternado entre elementos estruturais semelhantes. Combinação pela oposição cheio – vazio. A variação proporcional horizontal em formas tão idênticas não é um fator capaz de gerar as irregularidades necessárias ao efeito de oscilação.

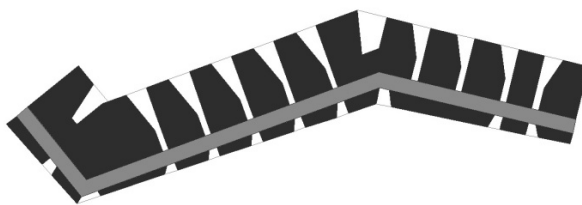


Fig. 96 – Ausência de efeito de oscilação na configuração geométrica em planta. Apesar de haver formas distintas, a repetição dominante assenta em formas exatamente idênticas. A preponderância do mesmo tipo de ângulos geométricos, anula toda e qualquer tentativa de criação de composições geométricas com efeitos de oscilação.

5 – Espaço positivo

A primeira impressão que se obtém dos elementos estruturais que compõem o objeto, é o facto de todos eles conterem formas rígidas perfeitamente definidas, ou seja, têm espaço positivo. No entanto, poucos são os elementos estruturais que possuem essa qualidade. Observe-se primeiro a composição geométrica em planta. Existe uma repetição constante de elementos estruturais perfeitamente delineados e circunscritos, mas a maioria resulta da intersecção destas com um outro elemento, mais concretamente, o corredor (fig. 12). Dessa intersecção resulta um conjunto de elementos estruturais sem regras próprias, pois partilham as suas propriedades geométricas com outros elementos. E quando assim é, os elementos não revelam as qualidades geométricas inerentes ao espaço positivo. Em alçado, a inexistência de espaço positivo na maioria das formas, tem uma origem completamente distinta. Apesar de ser facilmente perceptível que a composição geométrica dos alçados resulta da repetição de formas quadrangulares, ao tentar-se circunscrever essas mesmas formas depara-se com o seguinte facto – muitas não são possíveis de fechar. A conjugação das mesmas, sem qualquer elemento de separação contrastante, é totalmente responsável por este fenómeno. Portanto, se não é possível circunscrever os elementos, então estes não contêm nada que lhes seja exclusivo, ou seja, não detêm espaço positivo (fig. 13, 14, 15 e 16).

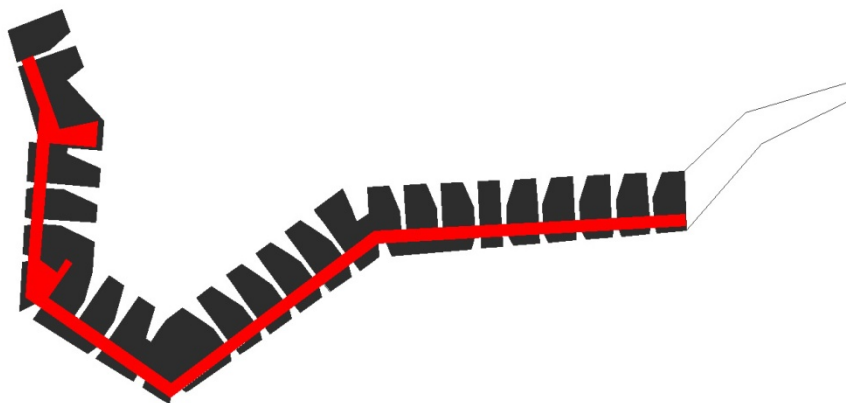


Fig. 97 – Ausência de espaço positivo na configuração geométrica da planta. As formas a cinza, são perfeitamente delineadas e identificáveis, mas resultam da intersecção com a forma a vermelho. Portanto, as regras geométricas que a compõem, não são exclusivamente suas. Assim sendo, não têm espaço positivo.



Fig. 98 – Alçado em estudo

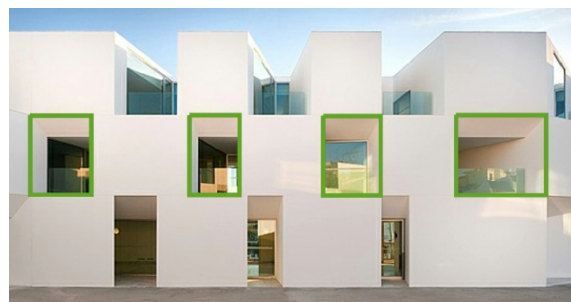


Fig.99 – Elementos estruturais com espaço positivo. É possível circunscrever as formas, o que as torna perfeitamente definidas e identificáveis. As regras geométricas e o espaço interior que as compõe são exclusivamente suas.



Fig. 100 – Elementos estruturais sem espaço positivo. Não é possível circunscrever as formas. Estas ficam abertas, o que faz com que o espaço interior que as compõe não seja exclusivamente suas.



Fig. 101 – Outra hipótese de circunscrever as formas. A verde, forma fechada com espaço positivo. A vermelho, forma aberta sem espaço positivo.

6 – Boa forma

A composição geométrica não detém boa forma, pois apenas revela conter um dos sete parâmetros (item 2) definidos por Alexander, como necessários à obtenção das qualidades geométricas inerentes à boa forma.

1 - tem um alto grau de simetrias internas;

A composição geométrica evidencia uma forte contradição face ao grau de simetrias internas, isto porque, estas existem nos elementos estruturais quando observados em planta, mas não existem no volume tridimensional dos mesmos elementos, tal como é possível observar nos alçados. Assim sendo, os volumes estruturais não evidenciam um alto grau de simetrias internas (ver ponto 7 – Simetrias locais).

2 - é quase sempre definida por uma simetria bilateral;

As formas dos elementos que compõem a geometria geral do edifício, são todas elas definidas por simetria bilateral. Em alçado a simetria bilateral dos elementos que os constituem são tão regulares, que não existem simetrias locais. Em contrapartida, a forma dos elementos geométricos em planta, apresentam algumas irregularidades, ou seja, não apresentam uma simetria bilateral perfeita o que desponta o aparecimento de simetrias locais. (ver ponto 7. Simetrias locais).

3 - tem um centro bem definido, que não necessita de ser o centro geométrico da forma;

A composição não tem um centro geométrico definido. É uma composição que resulta da repetição sucessiva de alguns elementos estruturais mediante uma linha orientadora. Não há preocupação em direccionar esses elementos para uma zona em particular da composição (ver ponto 2. Centros fortes).

4 - tem espaço positivo;

A forma geral, é contornável e fechada, portanto poderia afirmar-se que tem espaço positivo. Contudo, a grande maioria dos elementos que a compõem não têm espaço positivo, ou por resultarem da intersecção de formas, ou por não serem formas possíveis de ser totalmente contornáveis (ver ponto 5. Espaço positivo).

5 - são fortemente distintas daquilo que a rodeia;

É fortemente distinta da envolvente, mas não participa na mesma. A sua identidade é fortemente imposta da envolvente. Apesar de apresentar alguma ambiguidade, impõe uma fronteira rígida entre o que é a envolvente e o que é a estrutura. (ver ponto 8 – ambiguidade e ligação profunda)

6 - são relativamente compactas, dentro das proporções dos níveis de escala (1:1, 1:2, 1:4);

A estrutura detém uma composição estrutural que não é totalmente compacta. Alguns dos seus elementos, não revelam relações proporcionais com os que o confinam, pois estes denotam ordens de grandeza fora do intervalo harmonioso estipulado por Alexander (ver ponto 1 – níveis de escala).

7 - são formas fechadas que transmitem a sensação que estão completas.

A forma dos elementos geométricos que compõem a forma geral, são formas simples, compactas e fechadas. A composição que geram em conjunto, faz com que algumas dessas formas percam essas características, pois geram formas abertas e incompletas. O resultado, é uma composição constituída por elementos soltos, sem relação e pouco coesa, pois nada depende da existência de nada (ver ponto 14. Simplicidade e calma interior).

7 – Simetrias locais

Tanto a forma geral como a formas dos elementos que a constituem, apresentam em planta, simetrias locais a partir de uma composição por simetria bilateral. Isto significa que as formas não são simetricamente perfeitas a partir do eixo de simetria bilateral. Têm características geométricas similares, mas são simetricamente irregulares (fig. 17, 18 e 19). No entanto, esta característica geométrica que tão fortemente está presente na representação em planta torna-se inexistente nos alçados do objeto construído. Quando as formas quadriláteras ou pentagonais se transformam num prisma, as diversas superfícies do mesmo assumem simetrias bilaterais puras. Temos sempre quadriláteros com dois lados iguais, em oposição à total desigualdade dos lados do perímetro do quadrilátero em plano. Portanto, as simetrias locais, não abrangem as diversas dimensões de um objeto tridimensional, o que significa que são objetos sem simetrias locais (fig. 20).

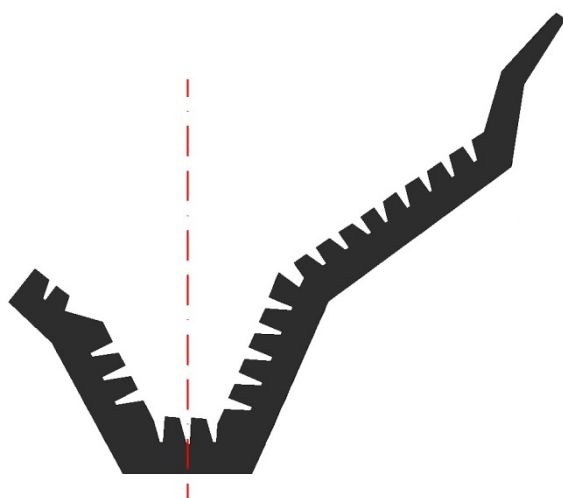


Fig. 102 – A composição desenvolve-se por simetria bilateral não exata. Os lados da simetria não são iguais, mas são familiares, portanto a forma geral tem simetria local.

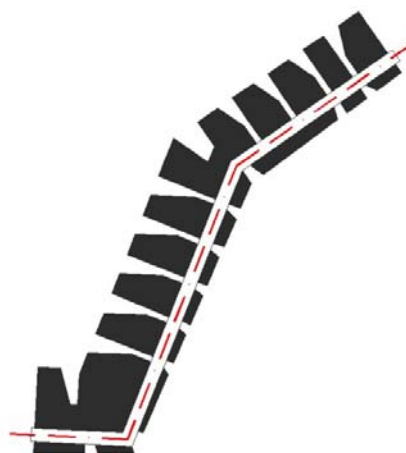


Fig. 103 – Distribuição dos elementos estruturais. Estes distribuem-se por contínua repetição através de um eixo de simetria bilateral. As formas em ambos os lados do eixo não são iguais, mas são similares, ou seja, têm simetria local

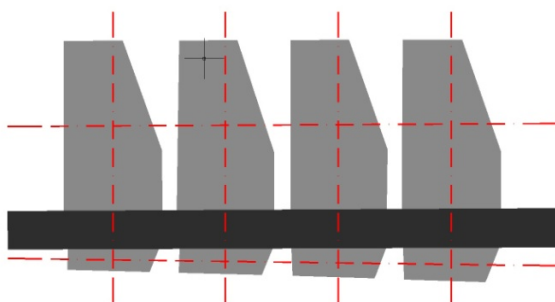


Fig. 104 – Simetrias locais nos elementos estruturais.



Fig. 105 – Ausência de simetrias locais na configuração geométrica do alçado. As formas são geometricamente iguais, mediante um eixo de simetria bilateral.

8 – Ambiguidade e ligação profunda

Os limites da composição, são constituídos por elementos estruturais da forma e pela envolvente, mas a sua combinação é muito pouco intensa. Não existe qualquer tipo de gradação da envolvente para o interior do edifício e vice-versa. Existe envolvente, um nível de envolvente e objeto e o interior do objeto. Mais, a interação está presa às regras de uma forma oculta (fig. 21 e 22) que impõe até onde o objeto pode ir na envolvente e até onde a envolvente pode existir no objeto. O resultado, é uma ambiguidade pouco dinâmica e muito mecânica. Apesar de existir um pouco de ambiguidade, o objeto impõe-se na envolvente pela diferenciação e não pela distinção, pois mantém rígida a fronteira entre objeto e envolvente (fig. 23).



Fig. 106 – Facetamento rígido dos limites do edifício.

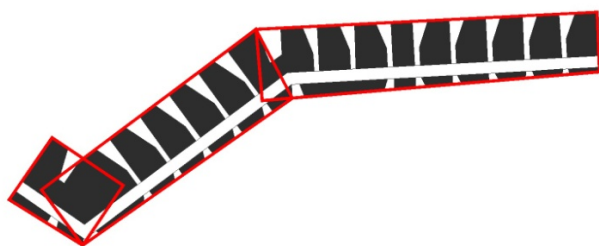


Fig. 107 – Representação gráfica das imposições geométricas (vermelho).



Fig. 108 – Fronteira de interação entre edifício e envolvente. A zona que o edifício tem para interagir com a envolvente é rigidamente limitada, criando um efeito de fusão muito pouco intenso.

9 – Contraste

O contraste predominante na composição geométrica do edifício é a oposição cheio / vazio (existência e inexistência de matéria). Esta composição é concretizada através da repetição alternada de formas geometricamente similares. No entanto, o contraste não é suficiente para tornar distinguíveis os elementos geométricos (ver ponto 5 – espaço positivo). Os elementos em oposição não se envolvem na totalidade, não delineando com exatidão o perímetro dos elementos. Assim sendo, o contraste não cumpre a principal qualidade geométrica a que se propõe, a legibilidade clara dos elementos estruturais da composição (fig. 24).



Fig. 109 - Incomprimento do propósito da oposição cheio / vazio . Não é possível delimitar na totalidade, a maioria dos elementos estruturais pela inexistência de contraste. O resultado, é um conjunto de elementos estruturais com formas indefiníveis e de difícil legibilidade.

10 – Gradientes

Não existe a presença de gradientes na composição geométrica do edifício. A forma dos elementos apesar de apresentarem pequenas alterações em termos proporcionais, não criam uma cadência proporcional em nenhuma direção, nem dão saltos proporcionais de acordo com o descrito no ponto 1 (níveis de escala). As pequenas cadências são rapidamente interrompidas por outras em sentido oposto, anulando logo qualquer efeito de estratificação visual (fig. 110).

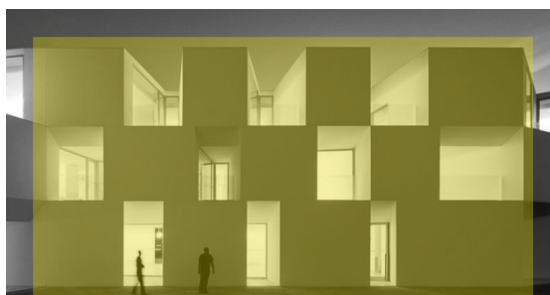


Fig. 110 – Ausência de gradientes

Apesar de ser perceptível a existência de pequenas cadências de gradientes, estes apresentam-se com sentidos opostos nas diferentes camadas e com saltos proporcionais entre elementos pouco significativos.

11 – Rugosidade

O efeito de rugosidade neste edifício é praticamente nulo, tanto a nível da representação geométrica como a nível do objeto construído. Tudo é demasiado perfeito e igual. A composição apresenta, sobretudo em alçado, muito poucas irregularidades. As formas podem não ser iguais, mas prevalecem repetitivamente os mesmos ângulos geométricos, facto que anula qualquer intensão de produção de irregularidades por variação formal (fig. 27). Em planta, os elementos geométricos são bastante mais irregulares que os que compõem o alçado, mas mesmo assim, o efeito de rugosidade é nulo. A razão é simples. As formas são irregulares, mas na grande maioria são iguais à que a sucedem. A repetição de elementos por cópia geométrica perfeita, não é suficiente para desencadear o efeito de rugosidade na forma. Nem mesmo pelo aumento das proporções dos mesmos, isto porque, os ângulos predominantes continuam iguais (fig. 27).

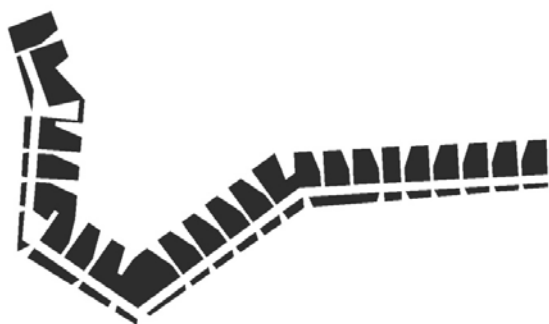


Fig. 111 – Ausência de rugosidade por predominância dos mesmos ângulos geométricos. Apesar das irregularidades formais de cada elemento, a predominância da repetição das mesma por pura cópia geométrica, não anula a presença dos mesmos ângulos geométricos em toda a composição formal. Tal facto, desintensifica a presença de irregularidades tão cruciais para o efeito de rugosidade.



Fig. 112 – Monotonia geométrica. Os elementos que compõem os alçados, são tão idênticos que não apresentam qualquer tipo de irregularidade. Portanto, não desponta efeito de rugosidade.

12 – Ecos

O carácter morfológico da forma geral é coerente. Todos os seus elementos possuem formas geometricamente semelhantes ou familiares que se repetem ao longo de toda a composição. Este tipo de composição morfológica está presente em todas as representações bidimensionais do objeto, bem como no próprio objeto construído (fig. 28 e 29).

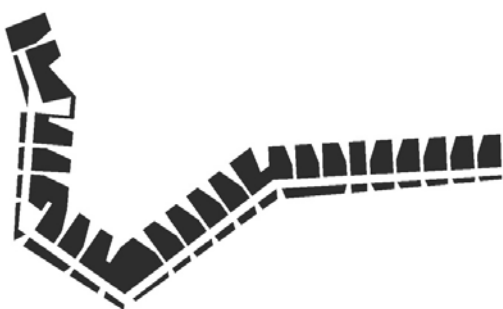


Fig. 113 – Carácter morfológico dos elementos estruturais em planta. Independentemente da diferença existente entre várias formas, estes partilham a mesma família de ângulos.



Fig. 114 – Carácter morfológico nos elementos estruturais em alçado. Apesar das diferenças proporcionais dos elementos estruturais, estes não perdem a mesma familiaridade geométrica ao longo da composição.

13 – O vazio

É importante salientar, que vazio não deve ser somente interpretado como uma ausência de massa dentro da composição formal. O vazio é uma zona da forma onde impera a calma e a tranquilidade, com ou sem matéria. Neste edifício, não existe qualquer elemento geométrico que perfure a forma e lhe retire matéria. Portanto, a existência de vazio pela ausência de matéria não é o caso deste exemplo. Analise-se então o vazio pela massa formal. A composição geométrica da forma é toda ela detalhada. Está cheia de distúrbio. Não há nenhuma zona onde a distúrbio se anule e quebre a sua própria estrutura, quer pelo aumento de intensidade do próprio distúrbio, quer por um salto proporcional de alguns dos seus elementos. Portanto, a forma não tem uma zona calma e tranquila capaz de equilibrar o distúrbio provocado pelos seus elementos estruturais, o que significa, que não detém as qualidades geométricas inerentes ao vazio (fig. 30 e 31).

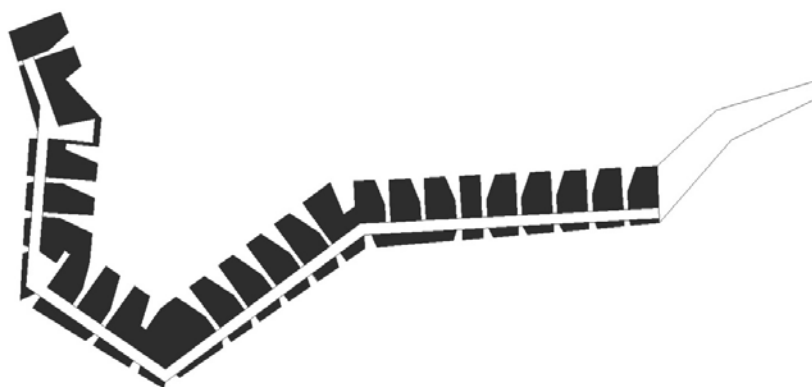


Fig. 115 – Ausência de vazio.

A forma é constituída por sucessivos elementos estruturais bem detalhados, sem qualquer tipo de interrupção. O resultado, é uma forma onde predomina o distúrbio. Não existe nenhuma zona homogênea na composição capaz de equilibrar o constante e forte detalhe formal dos seus elementos.



Fig. 116 – Predominância de “ruído” estrutural.

O forte detalhe dos elementos geométricos é constante, não existindo nenhum aumento ou quebra de intensidade que rompa a estrutura da composição.

14 – Simplicidade e calma interior

A forma não apresenta simplicidade nem calma interior. Tanto na representação geométrica da planta, como na do alçado, as formas dos elementos são simples e tranquilas. No entanto, a sua

conjugação não o é. A pureza geométrica das suas formas, não se reflete numa pureza geométrica de conjunto. Estas não se conjugam de modo a criar uma outra forma simples e tranquila. A semelhança formal entre elementos, é a única relação que detém. As mesmas não colam e não derivam uma das outras. São colocadas por simples justaposição ou sucessão e sem qualquer vínculo com as que lhe são adjacentes (fig. 32 e 33). Portanto, a composição não é simples, pois não é facilmente compreendida ou circunscrita. Também não tem calma interior, porque se for removido todo o distúrbio formal desnecessário, ou seja, se forem retiradas todas as formas que não estão a suportar outras, a composição geométrica pode mesmo desaparecer.

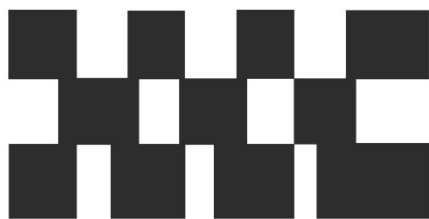


Fig. 117 – Alçado sem simplicidade e calma interior. As formas não colam nem suportam a existência das outras.

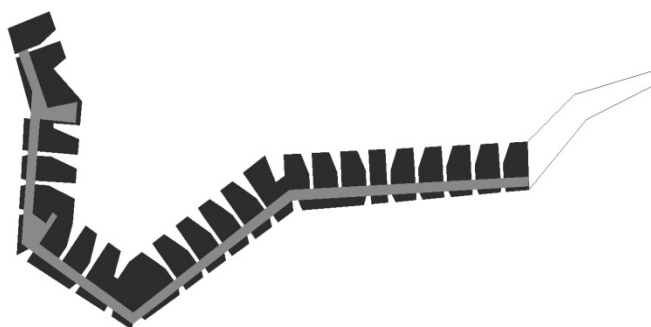


Fig. 118 – A geometria pura dos elementos estruturais da composição, não geram em conjunto uma forma simples. Os elementos estão soltos do conjunto. Não estão agregados uns nos outros, mas sim, colocados numa sucessão ordenada forçada. A forma de um dos elementos, nada deve aos elementos que lhe são adjacentes.

15 – Sem separação

A forma é distinta da envolvente, mas não é indistinguível nem coerente com a mesma (fig. 34). Apesar dos limites conterem partes da envolvente, esta não entra na forma mediante um processo de gradação, nem pela fragmentação formal. O resultado é uma estrutura que impõe uma fronteira rígida entre a envolvente e o objeto construído (fig. 35). (ver ponto 8 – Ambiguidade e ligação profunda).



Fig. 119 – Imposição pela distinção. A forma não se funde com a envolvente. Impõe o seu carácter e identidade pela distinção.



Fig. 120 – Separação entre forma e envolvente. O limite da forma é muito rígido. Não rasga a envolvente e permite que pouco desta participe na forma.

Conclusão

A composição geométrica do Lar de idosos de Alcácer do Sal, responde positivamente a apenas uma das quinze características geométricas sugeridas por Alexander, para medir o nível de vida nas estruturas humanas (fig. 36). Face a este resultado, pode-se deduzir que esta estrutura, em termos de essência geométrica, detém um grau de vida muito baixo. Portanto, segundo as ideias defendidas pelo autor, está-se perante uma estrutura que não apresenta capacidade de integração física na envolvente ambiental.


	Níveis de escala	Centros fortes	Limites	Repetição alternada	Espaço positivo	Boa forma	Simetrias locais	Ligação profunda	Contraste	Gradientes	Rugosidade	Ecos	Ovazio	Simplicidade	Sem separação
	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Fig. 121 – Quadro resumo da análise.

ANEXO 2

“GRAMÁTICA – REGRAS”

Ferramenta de desenho

Descrição algébrica e geométrica das regras da gramática pelas 4 fases de geração.

- Fase 1 – regras globais
- Fase 2 – regras de controlo formal
- Fase 3 – regras locais
- Fase 4 – regras espaciais

Este anexo é um complemento ao ponto 4.3 – Processo de geração. Este contempla a descrição das regras a implementar na geração dos modelos.

ÍNDICE

REGRAS GLOBAIS – Fase 1	Página
1.1 - Definição dos níveis de expansão.....	15
1.2 - Definição de sub níveis de expansão.....	19
1.3 - Efeito gradiente por oscilação.....	30
 REGRAS DE CONTROLO FORMAL – Fase 2	
2.1 - Definição dos ângulos de expansão estrutural.....	41
2.2 - Definição da grelha de pontos.....	42
2.3 - Zona de interdição formal.....	54
2.4 - União de pontos.....	58
2.5 - Geração formal por simetria bilateral ou radial.....	71
2.6 - Definição das guias de contorno formal.....	86
2.7 - Correção da sobreposição entre guias de controlo formal.....	93
2.8 - Concavidade e convexidade no último nível de expansão.....	112
2.9 – Simplificação.....	117
 REGRAS LOCAIS – Fase 3	
3.1 - Definição da forma inicial.....	123
3.2 - Expansão a partir da forma inicial.....	127
3.3 - Definição do perímetro dos polígonos estruturais para a geração de efeito de oscilação.....	135
3.4 - Retirar os elementos geométricos auxiliares à definição das formas estruturais.....	139
3.5 - Seleção dos elementos estruturais a incluir na composição geométrica.....	142
3.6 - Simplificação da composição geométrica.....	149
 REGRAS ESPACIAIS – Fase 4	
4.1 - Localização dos pontos.....	153
4.2 - Remarcação do nível de expansão máximo da composição geométrica.....	155
4.3 - Referenciação dos pontos a linhas de raio do último nível de expansão.....	157
4.4 - Definição da superfície espacial.....	159
4.5 - Transferência dos pontos do plano bidimensional para a superfície espacial.....	165
4.6 - Definição da composição geométrica final _ simplificação.....	173

ÍNDICE DE FIGURAS

REGRAS GLOBAIS – Fase 1	Página
Figura 1 - Descrição geométrica e algébrica da regra RG1.....	15
Figura 2 - Descrição geométrica e algébrica da regra RG2.....	15
Figura 3 - Exemplificação gráfica do cálculo de m_2	16
Figura 4 - Exemplificação da influência da ordem de grandeza do primeiro nível de expansão nos níveis seguintes.....	16
Figura 5 - Descrição geométrica e algébrica da regra RG3.....	17
Figura 6 - Exemplificação gráfica do cálculo de m_{i+1}	17
Figura 7 - Exemplo de aplicação da regra RG3.....	17
Figura 8 - Descrição geométrica e algébrica da regra RG4.....	18
Figura 9 - Exemplo de aplicação da regra RG4.....	18
Figura 10 - Representação esquemática da existência de subníveis de expansão.....	19
Figura 11 - Descrição geométrica e algébrica da regra RG5.....	19
Figura 12 - Exemplo de aplicação da regra RG5.....	20
Figura 13 - Descrição geométrica e algébrica da regra RG6.....	20
Figura 14 - Exemplo de aplicação da regra RG6.....	21
Figura 15 - Descrição geométrica e algébrica da regra RG7.....	21
Figura 16 - Exemplo de aplicação da regra RG7.....	22
Figura 17 - Descrição geométrica e algébrica da regra RG8.....	22
Figura 18 - Exemplo de aplicação da regra RG8.....	23
Figura 19 - Descrição geométrica e algébrica da regra RG9.....	23
Figura 20 - Exemplo de aplicação da regra RG9.....	24
Figura 21 - Descrição geométrica e algébrica da regra RG10.....	25
Figura 22 - Exemplo de aplicação da regra RG10.....	25
Figura 23 - Descrição geométrica e algébrica da regra RG11.....	26
Figura 24 - Exemplo de aplicação da regra RG11.....	26
Figura 25 - Descrição geométrica e algébrica da regra RG12.....	27
Figura 26 - Exemplo de aplicação da regra RG12.....	28
Figura 27 - Descrição geométrica e algébrica da regra RG13.....	28
Figura 28 - Exemplo de aplicação da regra RG13.....	29
Figura 29 - Exemplo de 4 bases estruturais geradas com as regras anteriores (RG1 a RG13)	29
Figura 30 - Descrição geométrica e algébrica da regra RG14.....	31
Figura 31 - Exemplo de aplicação da regra RG14.....	31
Figura 32 - Descrição geométrica e algébrica da regra RG15.....	32
Figura 33 - Exemplo de aplicação da regra RG15.....	32
Figura 34 - Descrição geométrica e algébrica da regra RG16.....	33
Figura 35 - Exemplo de aplicação da regra RG16.....	34
Figura 36 - Descrição geométrica e algébrica da regra RG17.....	35
Figura 37 - Exemplo de aplicação da regra RG17.....	35
Figura 38 - Descrição geométrica e algébrica da regra RG18.....	36
Figura 39 - Exemplo de aplicação da regra RG18.....	37

	Página
Figura 40 - Descrição geométrica e algébrica da regra RG19.....	38
Figura 41 - Exemplo de aplicação da regra RG19.....	38
Figura 42 - Exemplo de uma base estrutural de quatro níveis de expansão com efeito de oscilação.....	39

REGRAS DE CONTROLO FORMAL – Fase 2

Figura 43 - Exemplo de estruturas vivas com expansão em onda sem configuração circular.....	41
Figura 44 - Relação entre ordens de grandeza e respetivo ângulo de expansão na base estrutural em onda.....	41
Figura 45 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF1.....	42
Figura 46 - Exemplo de aplicação da regra RCF1.....	42
Figura 47 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF2.....	42
Figura 48 - Exemplo de aplicação da regra RCF2.....	43
Figura 49 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF3.....	43
Figura 50 - Exemplo de aplicação da regra RCF3.....	43
Figura 51 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF4.....	44
Figura 52 - Exemplo de aplicação da regra RCF4.....	44
Figura 53 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF5.....	45
Figura 54 - Esquema exemplificativo de geração do ponto $D_{i,j+1}$	45
Figura 55 - Exemplo de aplicação da regra RCF5.....	45
Figura 56 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF6.....	46
Figura 57 - Esquema exemplificativo de geração do ponto $D_{i,j+1}$	46
Figura 58 - Exemplo de aplicação da regra RCF6.....	46
Figura 59 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF7.....	46
Figura 60 - Esquema exemplificativo de geração do ponto $D'_{i,i}$	47
Figura 61 - Exemplo de aplicação da regra RCF7.....	47
Figura 62 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF8.....	47
Figura 63 - Exemplo de aplicação da regra RCF8.....	48
Figura 64 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF9.....	48
Figura 65 - Exemplo de aplicação da regra RCF9.....	48
Figura 66 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF10.....	49
Figura 67 - Exemplo de aplicação da regra RCF10.....	49
Figura 68 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF11.....	50
Figura 69 - Esquema exemplificativo de geração do ponto V_i	50
Figura 70 - Exemplo de aplicação da regra RCF11.....	50
Figura 71 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF12.....	51
Figura 72 - Esquema exemplificativo de geração dos pontos $-V_i$ e V_i	51
Figura 73 - Exemplo de aplicação da regra RCF12.....	51
Figura 74 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF13.....	52
Figura 75 - Exemplo de aplicação da regra RCF13.....	52
Figura 76 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF14.....	52
Figura 77 - Exemplo de aplicação da regra RCF14.....	53
Figura 78 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF15.....	53
Figura 79 - Exemplo de aplicação da regra RCF15.....	53

	Página
Figura 80 - Os seis diferentes tipos de grelhas possíveis de gerar com as regras de controlo formal.....	54
Figura 81 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF16.....	55
Figura 82 - Exemplo de aplicação da regra RCF16.....	55
Figura 83 - Exemplo de uma base estrutural com sete níveis de expansão, com ângulo de expansão igual a 90°.	55
Figura 84 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF17.....	56
Figura 85 - Exemplo de aplicação da regra RCF17.	56
Figura 86 - Exemplo de uma base estrutural com sete níveis de expansão, com ângulo de expansão igual a 120°.	56
Figura 87 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF18.....	57
Figura 88 - Exemplo de aplicação da regra RCF18.....	57
Figura 89 - Exemplo de uma base estrutural com sete níveis de expansão, com ângulo de expansão igual a 360°.	57
Figura 90 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF19.....	58
Figura 91 - Exemplo de aplicação da regra RCF19.....	58
Figura 92 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF20.....	59
Figura 93 - Exemplo de aplicação da regra RCF20.....	59
Figura 94 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF21.....	59
Figura 95 - Exemplo de aplicação da regra RCF21.....	60
Figura 96 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF22.....	60
Figura 97 - Exemplo 1 de aplicação da regra RCF22.....	60
Figura 98 - Exemplo 2 de aplicação da regra RCF22.....	61
Figura 99 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF23.....	61
Figura 100 - Exemplo 1 de aplicação da regra RCF23.....	61
Figura 101 - Exemplo 2 de aplicação da regra RCF23.....	61
Figura 102 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF24.....	62
Figura 103 - Exemplo 1 de aplicação da regra RCF24.....	62
Figura 104 - Exemplo 2 de aplicação da regra RCF24.....	62
Figura 105 - Exemplo 3 de aplicação da regra RCF24.....	62
Figura 106 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF25.....	63
Figura 107 - Exemplo 1 de aplicação da regra RCF25.....	63
Figura 108 - Exemplo 2 de aplicação da regra RCF25.....	63
Figura 109 - Exemplo 3 de aplicação da regra RCF25.....	64
Figura 110 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF26.....	64
Figura 111 - Exemplo de aplicação da regra RCF26.....	64
Figura 112 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF27.....	65
Figura 113 - Exemplo 1 de aplicação da regra RCF27.....	65
Figura 114 - Exemplo 2 de aplicação da regra RCF27.....	65
Figura 115 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF28.....	66
Figura 116 - Exemplo de aplicação da regra RCF28.....	66
Figura 117 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF29.....	66
Figura 118 - Exemplo 1 de aplicação da regra RCF29.....	66
Figura 119 - Exemplo 2 de aplicação da regra RCF29.....	67
Figura 120 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF30.....	67
Figura 121 - Exemplo 1 de aplicação da regra RCF30.....	67
Figura 122 - Exemplo 2 de aplicação da regra RCF30.....	68

	Página
Figura 123 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF31.....	68
Figura 124 - Exemplo 1 de aplicação da regra RCF31.....	68
Figura 125 - Exemplo 2 de aplicação da regra RCF31.....	69
Figura 126 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF32.....	69
Figura 127 - Exemplo de aplicação da regra RCF32.....	69
Figura 128 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF33.....	70
Figura 129 - Exemplo de aplicação da regra RCF33.....	70
Figura 130 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF34.....	70
Figura 131 - Exemplo de aplicação da regra RCF34.....	71
Figura 132 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF35.....	71
Figura 133 - Exemplo de aplicação da regra RCF35.....	72
Figura 134 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF36.....	72
Figura 135 - Exemplo de aplicação da regra RCF36.....	72
Figura 136 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF37.....	73
Figura 137 - Exemplo de aplicação da regra RCF37.....	73
Figura 138 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF38.....	74
Figura 139 - Exemplo de aplicação da regra RCF38.....	74
Figura 140 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF39.....	74
Figura 141 - Exemplo de aplicação da regra RCF39.....	75
Figura 142 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF40.....	75
Figura 143 - Exemplo de aplicação da regra RCF40.....	75
Figura 144 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF41.....	76
Figura 145 - Exemplo de aplicação da regra RCF41.....	76
Figura 146 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF42.....	77
Figura 147 - Exemplo de aplicação da regra RCF42.....	77
Figura 148 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF43.....	78
Figura 149 - Exemplo de aplicação da regra RCF43.....	78
Figura 150 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF44.....	78
Figura 151 - Exemplo de aplicação da regra RCF44.....	79
Figura 152 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF45.....	79
Figura 153 - Exemplo de aplicação da regra RCF45.....	79
Figura 154 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF46.....	80
Figura 155 - Exemplo de aplicação da regra RCF46.....	80
Figura 156 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF47.....	81
Figura 157 - Exemplo de aplicação da regra RCF47.....	81
Figura 158 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF48.....	81
Figura 159 - Exemplo de aplicação da regra RCF48.....	82
Figura 160 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF49.....	82
Figura 161 - Exemplo de aplicação da regra RCF49.....	83
Figura 162 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF50.....	83
Figura 163 - Exemplo de aplicação da regra RCF50.....	84
Figura 164 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF51.....	84
Figura 165 - Exemplo de aplicação da regra RCF51.....	84
Figura 166 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF52.....	85
Figura 167 - Exemplo de aplicação da regra RCF52.....	85

	Página
Figura 168 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF53.....	86
Figura 169 - Exemplo de aplicação da regra RCF53.....	86
Figura 170 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF54.....	87
Figura 171 - Representação geométrica das diferentes hipóteses de altura para um arco.....	87
Figura 172 - Exemplo de aplicação da regra RCF54.....	87
Figura 173 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF55.....	88
Figura 174 - Exemplo de aplicação da regra RCF55.....	88
Figura 175 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF55A.....	88
Figura 176 - Exemplo de aplicação da regra RCF55A.....	89
Figura 177 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF56.....	89
Figura 178 - Exemplo de aplicação da regra RCF56.....	89
Figura 179 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF57.....	90
Figura 180 - Definição de um arco composto num intervalo de expansão.....	90
Figura 181 - Definição de um arco composto em dois intervalos de expansão.....	91
Figura 182 - Exemplo de aplicação da regra RCF57.....	92
Figura 183 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF58.....	92
Figura 184 - Exemplo de aplicação da regra RCF58.....	93
Figura 185 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF59.....	93
Figura 186 - Exemplo de aplicação da regra RCF59.....	94
Figura 187 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF60.....	94
Figura 188 - Exemplo de aplicação da regra RCF60.....	94
Figura 189 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF61.....	95
Figura 190 - Exemplo de aplicação da regra RCF61.....	95
Figura 191 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF62.....	95
Figura 192 - Exemplo de aplicação da regra RCF62.....	96
Figura 193 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF63.....	96
Figura 194 - Exemplo de aplicação da regra RCF63.....	96
Figura 195 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF64.....	97
Figura 196 - Exemplo de aplicação da regra RCF64.....	97
Figura 197 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF65.....	97
Figura 198 - Exemplo de aplicação da regra RCF65.....	98
Figura 199 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF66.....	98
Figura 200 - Exemplo de aplicação da regra RCF66.....	98
Figura 201 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF67.....	99
Figura 202 - Exemplo de aplicação da regra RCF67.....	99
Figura 203 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF68.....	99
Figura 204 - Exemplo de aplicação da regra RCF68.....	100
Figura 205 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF69.....	100
Figura 206 - Exemplo de aplicação da regra RCF69.....	100
Figura 207 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF70.....	101
Figura 208 - Exemplo de aplicação da regra RCF70.....	101
Figura 209 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF71.....	101
Figura 210 - Exemplo de aplicação da regra RCF71.....	102
Figura 211 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF72.....	102
Figura 212 - Exemplo de aplicação da regra RCF72.....	102

	Página
Figura 213 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF73.....	103
Figura 214 - Exemplo de aplicação da regra RCF73.....	103
Figura 215 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF74.....	103
Figura 216 - Exemplo de aplicação da regra RCF74.....	104
Figura 217 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF75.....	104
Figura 218 - Exemplo de aplicação da regra RCF75.....	104
Figura 219 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF76.....	105
Figura 220 - Exemplo de aplicação da regra RCF76.....	105
Figura 221 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF76A.....	105
Figura 222 - Exemplo de aplicação da regra RCF76A.....	106
Figura 223 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF77.....	106
Figura 224 - Exemplo de aplicação da regra RCF77.....	106
Figura 225 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF78.....	107
Figura 226 - Exemplo de aplicação da regra RCF78.....	107
Figura 227 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF79.....	107
Figura 228 - Exemplo de aplicação da regra RCF79.....	108
Figura 229 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF80.....	108
Figura 230 - Exemplo de aplicação da regra RCF80.....	108
Figura 231 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF81.....	109
Figura 232 - Exemplo de aplicação da regra RCF81.....	109
Figura 233 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF82.....	109
Figura 234 - Exemplo de aplicação da regra RCF82.....	109
Figura 235 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF83.....	110
Figura 236 - Exemplo de aplicação da regra RCF83.....	110
Figura 237 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF84.....	110
Figura 238 - Exemplo de aplicação da regra RCF84.....	111
Figura 239 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF85.....	111
Figura 240 - Exemplo de aplicação da regra RCF85.....	111
Figura 241 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF86.....	112
Figura 242 - Exemplo de aplicação da regra RCF86.....	112
Figura 243 - Concavidade e convexidade dos arcos no último nível de expansão.....	113
Figura 244 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF87.....	113
Figura 245 - Exemplo de aplicação da regra RCF87.....	113
Figura 246 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF88.....	114
Figura 247 - Exemplo de aplicação da regra RCF88.....	114
Figura 248 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF89.....	114
Figura 249 - Exemplo de aplicação da regra RCF89.....	115
Figura 250 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF90.....	115
Figura 251 - Exemplo de aplicação da regra RCF90.....	115
Figura 252 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF91.....	116
Figura 253 - Exemplo de aplicação da regra RCF91.....	116
Figura 254 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF92.....	116
Figura 255 - Exemplo de aplicação da regra RCF92.....	116
Figura 256 - Descrição geométrica da regra RCF93.....	117
Figura 257 - Exemplo de aplicação da regra RCF93.....	117

	Página
Figura 258 - Descrição geométrica da regra RCF94.....	117
Figura 259 - Exemplo de aplicação da regra RCF94.....	118
Figura 260 - Descrição geométrica da regra RCF95.....	118
Figura 261 - Exemplo de aplicação da regra RCF95.....	118
Figura 262 - Descrição geométrica da regra RCF96.....	119
Figura 263 - Exemplo de aplicação da regra RCF96.....	119
Figura 264 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF97.....	119
Figura 265 - Exemplo de aplicação da regra RCF97.....	120
Figura 266 - Descrição geométrica e algébrica da regra RCF98.....	120
Figura 267 - Exemplo de aplicação da regra RCF98.....	120
Figura 268 - Descrição geométrica da regra RCF99.....	121
Figura 269 - Exemplo de aplicação da regra RCF99.....	121
Figura 270 - Exemplos de alguns tipos de configurações geométricas gerados pelas guias de controlo formal.....	121

REGRAS LOCAIS – Fase 3

Figura 271 - Descrição geométrica e algébrica da regra RL1.....	123
Figura 272 - O comprimento de cada segmento de reta do polígono (a, b,c, d, e) não é inferior a 1/4 ou superior a 4 do comprimento dos segmentos de reta que lhes são adjacentes...	123
Figura 273 - Exemplo de aplicação da regra RL1.....	124
Figura 274 - Descrição geométrica e algébrica da regra RL2.....	124
Figura 275 - Exemplo de aplicação da regra RL2.....	124
Figura 276 - Exemplo de uma composição geométrica finda a aplicação da regra RL2.....	125
Figura 277 - Descrição geométrica e algébrica da regra RL3.....	125
Figura 278 - Exemplo de aplicação da regra RL3.....	125
Figura 279 - Exemplo de uma composição geométrica finda a aplicação da regra RL3.....	126
Figura 280 - Descrição geométrica e algébrica da regra RL4.....	126
Figura 281 - Exemplo de aplicação da regra RL4.....	126
Figura 282 - Descrição geométrica e algébrica da regra RL5.....	127
Figura 283 - Exemplo de aplicação da regra RL5.....	127
Figura 284 - Descrição geométrica e algébrica da regra RL6.....	128
Figura 285 - Exemplo de aplicação da regra RL6.....	128
Figura 286 - Descrição geométrica e algébrica da regra RL7.....	129
Figura 287 - Exemplo de aplicação da regra RL7.....	129
Figura 288 - Descrição geométrica e algébrica da regra RL8.....	130
Figura 289 - Exemplo de aplicação da regra RL8.....	130
Figura 290 - Descrição geométrica e algébrica da regra RL9.....	131
Figura 291 - Exemplo de aplicação da regra RL9.....	131
Figura 292 - Exemplo de uma composição geométrica finda a aplicação da regra RL9.....	131
Figura 293 - Descrição geométrica e algébrica da regra RL10.....	132
Figura 294 - As duas situações em que a regra pode ser aplicada _ exemplos.....	132
Figura 295 - Exemplo de aplicação da regra RL10.....	133
Figura 296 - Descrição geométrica e algébrica da regra RL11.....	133
Figura 297 - Exemplo de aplicação da regra RL11.....	133

	Página
Figura 298 - Descrição geométrica e algébrica da regra RL12.....	134
Figura 299 - Exemplo de aplicação da regra RL12.....	134
Figura 300 - Descrição geométrica e algébrica da regra RL13.....	135
Figura 301 - Exemplo de aplicação da regra RL13.....	135
Figura 302 - Zona de gradação crescente nos intervalos de expansão.....	136
Figura 303 - Descrição geométrica e algébrica da regra RL14.....	137
Figura 304 - Exemplo de aplicação da regra RL14.....	137
Figura 305 - Descrição geométrica e algébrica da regra RL15.....	138
Figura 306 - Exemplo de aplicação da regra RL15.....	138
Figura 307 - Descrição geométrica e algébrica da regra RL16.....	138
Figura 308 - Exemplo de aplicação da regra RL16.....	139
Figura 309 - Descrição geométrica e algébrica da regra RL17.....	139
Figura 310 - Exemplo de aplicação da regra RL17.....	139
Figura 311 - Descrição geométrica e algébrica da regra RL18.....	140
Figura 312 - Exemplo de aplicação da regra RL18.....	140
Figura 313 - Descrição geométrica e algébrica da regra RL19.....	140
Figura 314 - Exemplo de aplicação da regra RL19.....	141
Figura 315 - Descrição geométrica e algébrica da regra RL20.....	141
Figura 316 - Exemplo de aplicação da regra RL20.....	141
Figura 317 - Descrição geométrica e algébrica da regra RL21.....	141
Figura 318 - Exemplo de aplicação da regra RL21.....	142
Figura 319 - Estado das composições geométricas nesta fase do processo de geração.....	142
Figura 320 - Descrição geométrica da regra RL22.....	143
Figura 321 - Exemplo de aplicação da regra RL22.....	143
Figura 322 - Descrição geométrica da regra RL23.....	143
Figura 323 - Exemplo de aplicação da regra RL23.....	144
Figura 324 - Descrição geométrica da regra RL24.....	144
Figura 325 - Exemplo de aplicação da regra RL24.....	144
Figura 326 - Descrição geométrica da regra RL25.....	145
Figura 327 - Exemplo de aplicação da regra RL25.....	145
Figura 328 - Descrição geométrica e algébrica da regra RL26.....	145
Figura 329 - Exemplo de aplicação da regra RL26.....	146
Figura 330 - Descrição geométrica da regra RL27.....	146
Figura 331 - Exemplo de aplicação da regra RL27.....	146
Figura 332 - Descrição geométrica e algébrica da regra RL28.....	147
Figura 333 - Exemplo de aplicação da regra RL28.....	147
Figura 334 - Descrição geométrica e algébrica da regra RL29.....	147
Figura 335 - Exemplo de aplicação da regra RL29.....	148
Figura 336 - Descrição geométrica e algébrica da regra RL30.....	148
Figura 337 - Exemplo de aplicação da regra RL30.....	148
Figura 338 - Descrição geométrica da regra RL31.....	149
Figura 339 - Exemplo de aplicação da regra RL31.....	149
Figura 340 - Descrição geométrica da regra RL32.....	150
Figura 341 - Exemplo de aplicação da regra RL32.....	150
Figura 342 - Descrição geométrica da regra RL33.....	150

	Página
Figura 343 - Exemplo de aplicação da regra RL33.....	151
Figura 344 - Descrição geométrica da regra RL34.....	151
Figura 345 - Exemplo de aplicação da regra RL34.....	151
Figura 346 - Alguns exemplos de composições geométricas geradas pelo processo de desenho.....	152

REGRAS ESPACIAIS – Fase 4

Figura 347 - Descrição geométrica e algébrica da regra RE1.....	153
Figura 348 - Exemplo de aplicação da regra RE1.....	153
Figura 349 - Descrição geométrica e algébrica da regra RE2.....	154
Figura 350 - Exemplo de aplicação da regra RE2.....	154
Figura 351 - Descrição geométrica e algébrica da regra RE3.....	154
Figura 352 - Exemplo de aplicação da regra RE3.....	154
Figura 353 - Descrição geométrica e algébrica da regra RE4.....	155
Figura 354 - Exemplo de aplicação da regra RE4.....	155
Figura 355 - Descrição geométrica e algébrica da regra RE5.....	156
Figura 356 - Exemplo de aplicação da regra RE5.....	156
Figura 357 - Descrição geométrica e algébrica da regra RE6.....	156
Figura 358 - Exemplo de aplicação da regra RE6.....	157
Figura 359 - Descrição geométrica e algébrica da regra RE7.....	157
Figura 360 - Exemplo de aplicação da regra RE7.....	158
Figura 361 - Descrição geométrica e algébrica da regra RE8.....	158
Figura 362 - Exemplo de aplicação da regra RE8.....	158
Figura 363 - Exemplificação das características geométricas inerentes ao arco _ toro.....	159
Figura 364 - Exemplificação do cálculo do raio quando a dimensão do segmento de reta b equivale a metade do perímetro da circunferência _ toro.....	160
Figura 365 - Exemplificação gráfica para o cálculo do raio da superfície curva _ toro.....	160
Figura 366 - Comparação das diversas alturas do arco geradas pelas diferentes relações de grandeza proporcional _ toro.....	161
Figura 367 - Descrição geométrica e algébrica da regra RE9.....	161
Figura 368 - Exemplo de aplicação da regra RE9.....	161
Figura 369 - Exemplificação das características geométricas inerentes ao arco _ esfera.....	162
Figura 370 - Exemplificação do cálculo do raio quando a dimensão do segmento de reta b equivale a 1/4 do perímetro da circunferência _ esfera.....	162
Figura 371 - Exemplificação gráfica para o cálculo do raio da superfície curva _ esfera.....	163
Figura 372 - Comparação das diversas alturas do arco geradas pelas diferentes relação de grandeza proporcional _ esfera.....	164
Figura 373 - Descrição geométrica e algébrica da regra RE10.....	164
Figura 374 - Exemplo de aplicação da regra RE10.....	164
Figura 375 - Descrição geométrica e algébrica da regra RE11.....	165
Figura 376 - Exemplo de aplicação da regra RE11.....	165
Figura 377 - Descrição geométrica e algébrica da regra RE12.....	166
Figura 378 - Exemplo de aplicação da regra RE12.....	166
Figura 379 - Descrição geométrica e algébrica da regra RE13.....	166
Figura 380 - Exemplo de aplicação da regra RE13.....	167
Figura 381 - Descrição geométrica e algébrica da regra RE14.....	167

	Página
Figura 382 - Exemplo de aplicação da regra RE14.....	167
Figura 383 - Correspondência dos pontos definidores do segmento de reta b aos ângulos extremos do arco _ tórus.....	168
Figura 384 - Transformação de uma distância num ângulo _ tórus.....	168
Figura 385 - Descrição geométrica e algébrica da regra RE15.....	168
Figura 386 - Exemplo de aplicação da regra RE15.....	169
Figura 387 - Descrição geométrica e algébrica da regra RE16.....	169
Figura 388 - Exemplo de aplicação da regra RE16.....	170
Figura 389 - Correspondência dos pontos definidores do segmento de reta b aos ângulos extremos do arco _ esfera.....	170
Figura 390 - Transformação de uma distância num ângulo _ esfera.....	170
Figura 391 - Descrição geométrica e algébrica da regra RE17.....	171
Figura 392 - Exemplo de aplicação da regra RE17.....	171
Figura 393 - Descrição geométrica e algébrica da regra RE18.....	172
Figura 394 - Exemplo de aplicação da regra RE18.....	172
Figura 395 - Exemplo de uma composição geometrica bidimensional, com todos os pontos transferidos para a superfície tridimensional _ tórus.....	172
Figura 396 - Descrição geométrica e algébrica da regra RE19.....	173
Figura 397 - Exemplo de aplicação da regra RE19.....	173
Figura 398 - Descrição geométrica e algébrica da regra RE20.....	174
Figura 399 - Exemplo de aplicação da regra RE20.....	174
Figura 400 - Descrição geométrica e algébrica da regra RE21.....	174
Figura 401 - Exemplo de aplicação da regra RE21.....	175
Figura 402 - Descrição geométrica da regra RE22.....	175
Figura 403 - Exemplo de aplicação da regra RE22.....	175
Figura 404 - Descrição geométrica da regra RE23.....	176
Figura 405 - Exemplo de aplicação da regra RE23.....	176
Figura 406 - Descrição geométrica da regra RE24.....	176
Figura 407 - Exemplo de aplicação da regra RE24.....	177
Figura 408 - Descrição geométrica e algébrica da regra RE25.....	177
Figura 409 - Exemplo de aplicação da regra RE25.....	177
Figura 410 - Descrição geométrica e algébrica da regra RE26.....	178
Figura 411 - Exemplo de aplicação da regra RE26.....	178
Figura 412 - Representação tridimensional de uma composição geométrica finda a aplicação das regras espaciais.....	178

REGRAS GLOBAIS

1.1 Definição dos níveis de expansão

Os níveis de expansão são as linhas mestras de tudo o que irá ser implementado na composição. Portanto, a sua definição vai definir as dimensões sob as quais serão estabelecidas todas as relações proporcionais entre os elementos que irão compor a forma.

– *RG1 - Definição do primeiro nível de expansão (n_1).*

Sendo a expansão em onda, o tipo de expansão delineada para esta gramática, o nível de expansão inicial (n_1) e seguintes (n_i) serão definidos em termos geométricos por um arco de circunferência. Para localizar este arco no espaço é necessário um ponto. Assim sendo, sempre que existir um ponto de cor azul no espaço, este corresponderá ao centro do arco de circunferência do primeiro nível de expansão (n_1). A ordem de grandeza do nível de expansão não é limitada a nenhum valor, podendo ser arbitrária.

Para evitar que a regra gere continuamente arcos de diversas dimensões, mas de igual designação a partir do ponto azul, a aplicação do lado B da regra mudará a cor do ponto referido para vermelho. A este mesmo ponto será acrescentado a designação F (fig. 1).

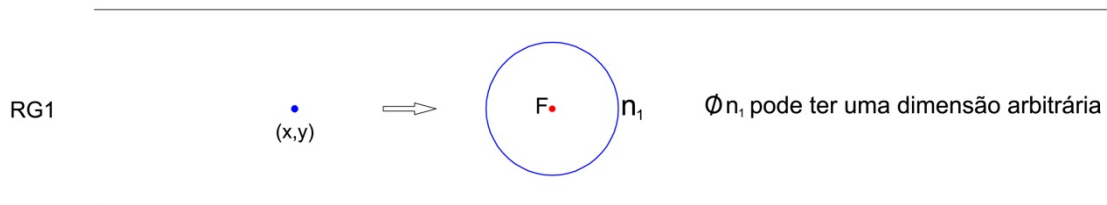


Fig. 1 – Descrição geométrica e algébrica da regra RG1.

– *RG2 – Definição do segundo nível de expansão (n_2).*

A ordem de grandeza no nível de expansão n_2 está proporcionalmente relacionada com a ordem de grandeza do nível de expansão n_1 . Ou seja, o posicionamento de n_2 depende de duas propriedades geométricas de n_1 – centro e dimensão. Sendo a expansão em onda, o posicionamento de n_2 no espaço, estará referenciado no centro de n_1 e a distância entre os seus perímetros, medida mediante uma linha de raio, deve corresponder a $2/3$ do diâmetro de n_1 . Estabelecendo o raio como uma ordem de grandeza, a localização do nível de expansão (n_2) face ao centro geométrico da composição pode ser definida do seguinte modo: $rn_2 = 2/3\phi n_1 + rn_1$.

Para evitar que o arco referencial n_1 , gere continuamente o mesmo nível de expansão após a aplicação da regra, a cor do nível de expansão n_1 muda, passando de azul para verde (fig. 2 e 3).

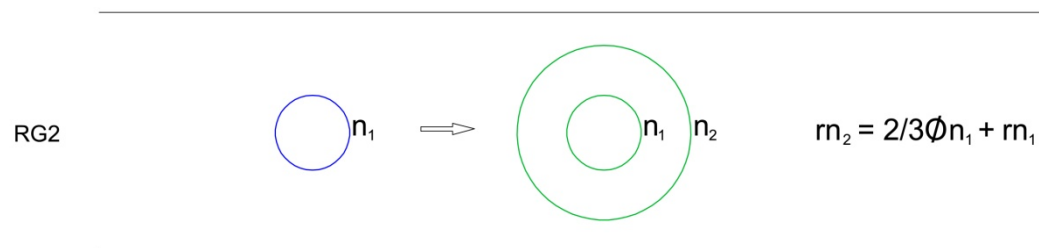
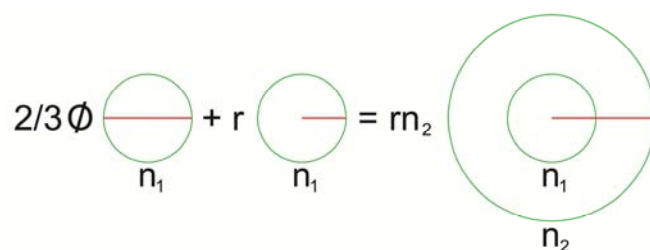


Fig. 2 – Descrição geométrica e algébrica da regra RG2.

Fig. 3 – Exemplificação gráfica do cálculo do rn_2

_ RG3 – Definição do terceiro e seguintes níveis de expansão.

Como definido no ponto 3.2.2.1.2 (níveis de expansão), o centro e os níveis de expansão são mutáveis, ou seja, em cada nova expansão o centro deve ser definido pelo nível de expansão anterior, contendo este o centro referencial anterior que lhe deu origem. Portanto, quando se gerou na regra RG2 o nível de expansão n_2 , o centro foi n_1 , mas quando se pretende gerar o nível de expansão n_3 , o centro referencial deve ser definido por n_2 , ficando incluído neste o n_1 . No entanto, a ordem de grandeza que irá ser usada como referência para gerar n_3 e os sucessivos níveis de expansão é ligeiramente diferente da aplicada na regra RG2. Em RG2 a dimensão de todo o diâmetro de n_1 , foi a base referencial para o cálculo da ordem de grandeza de n_2 . Contudo, para calcular a ordem de grandeza de n_3 e sucessivos níveis de expansão, não será a dimensão total do diâmetro de n_2 ou do nível de expansão anterior ao pretendido, que será tomada como base referencial. A expansão deve ser interpretada numa lógica de simetria repartida, onde a dimensão do diâmetro de n_1 é uma parte da dimensão referencial sempre fixa, sendo a outra parte da dimensão referencial, a distância medida numa linha de raio, que vai do perímetro de n_1 ao perímetro do último nível de expansão gerado (fig. X). Porquê desta variação? As estruturas vivas estruturam-se em redor de uma forma simples inicial. Essa forma, que ficará contida em n_1 (ver regras locais), pode conter num primeiro intervalo de expansão inúmeras formas com diversas dimensões adjacentes a si. Este facto demonstra que o eixo de simetria não coincide com o centro de geração dos níveis de expansão, mas que este é o próprio elemento inicial. E sendo um elemento com uma determinada dimensão, esta tem que ser tomada em conta em todas as direções em que se expanda. Daí a expansão numa determinada direção ser a dimensão da forma inicial mais a dimensão das formas geradas nessa direção. (fig. 4).

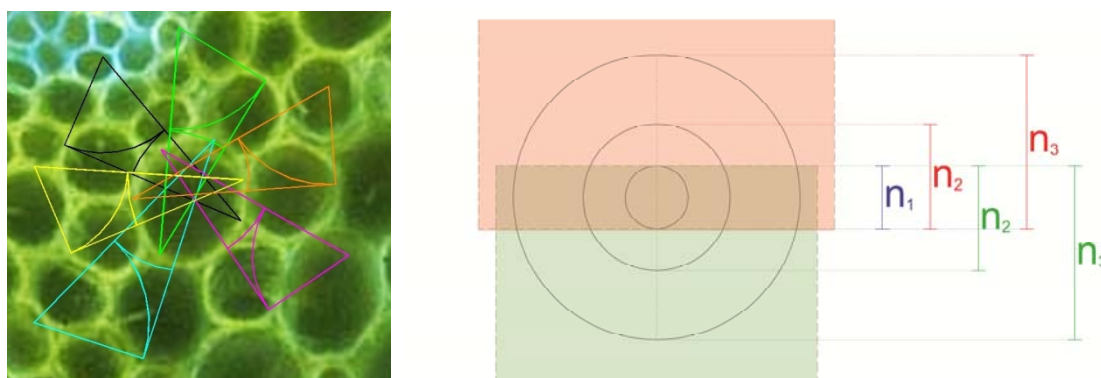


Fig. 4 – Exemplificação da influência da ordem de grandeza do primeiro nível de expansão nos níveis de expansão seguintes.

Sendo assim, a ordem de grandeza do novo nível de expansão (n_{i+1}) será definida mediante uma relação proporcional de $2/3$ da ordem de grandeza do intervalo de expansão $[n_i, n_i]$ medida sobre uma linha de raio, mais o diâmetro de n_1 . Sendo a ordem de grandeza, uma dimensão medida

sobre uma linha de raio, a localização do novo nível de expansão (n_{i+1}) face ao centro geométrico da composição é definida do seguinte modo: $rn_{i+1} = 2/3 (rn_1 + rn_i) + rn_i$ (fig. 5).

Para evitar uma contínua repetição da regra na mesma descrição geométrica do lado A da regra, o perímetro de n_i , muda as suas propriedades geométricas, passando da cor verde escuro para um verde claro (fig. 6 e 7).

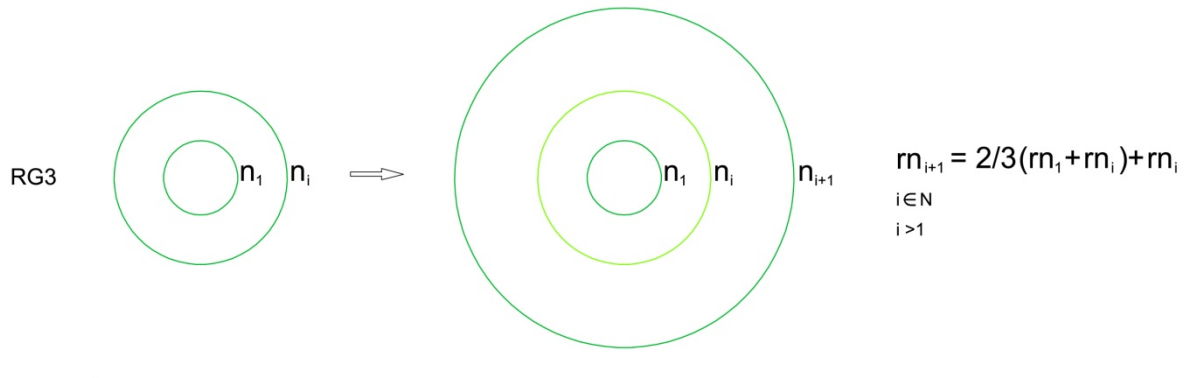


Fig. 5 – Descrição geométrica e algébrica da regra RG3.

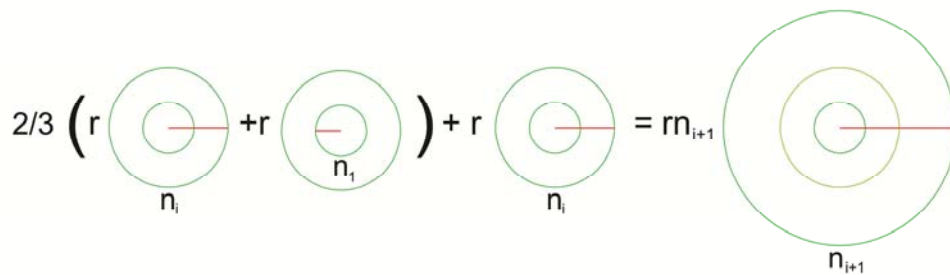


Fig. 6 – Exemplificação gráfica do cálculo do rn_{i+1}

$$rn_{i+1} = 2/3 (rn_1 + rn_i) + rn_i.$$

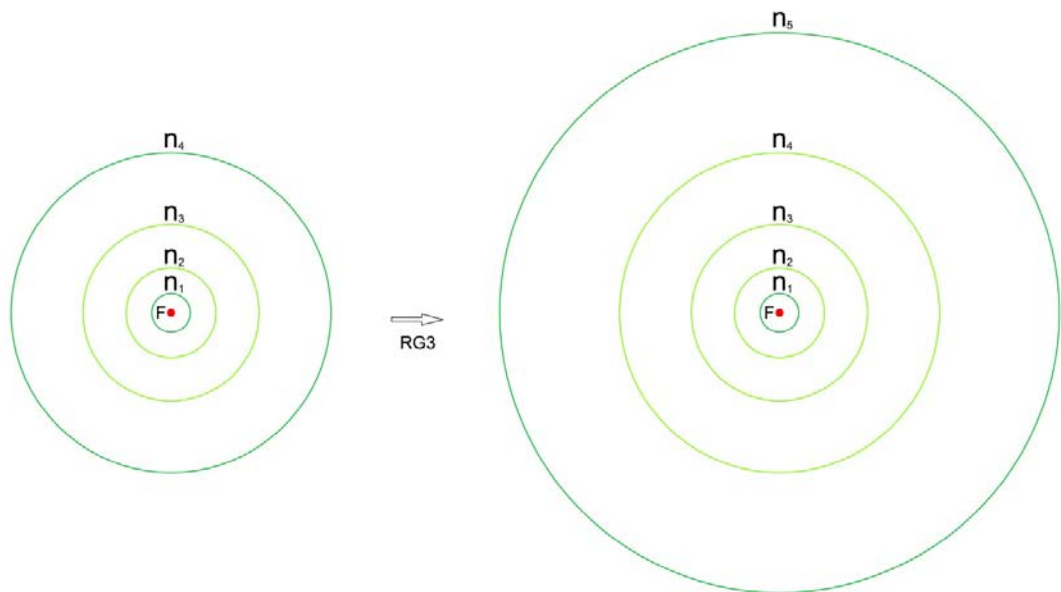


Fig. 7 – Exemplo de aplicação da regra RG3.

Com centro em F, o cálculo da ordem de grandeza de rn_5 foi feito do seguinte modo:

$$rn_5 = 2/3 (rn_1 + rn_4) + rn_4$$

_ RG4 – Definição do último nível de expansão.

A forma de cálculo da ordem de grandeza de um nível de expansão é sempre igual, caso se opte pelo termino ou continuidade da expansão. Portanto, sendo este caso específico a geração do último nível de expansão, a sua definição deve seguir os mesmos parâmetros descritos na regra RG3, apenas incluindo a variante de o nível de expansão n_{i+1} ser representado com a cor vermelha.

Para evitar que a regra continue a gerar arcos sucessivos por sobreposição, o perímetro do penúltimo nível de expansão (n_i) muda as suas propriedades geométricas, passando de verde escuro para verde claro (fig. 8 e 9).

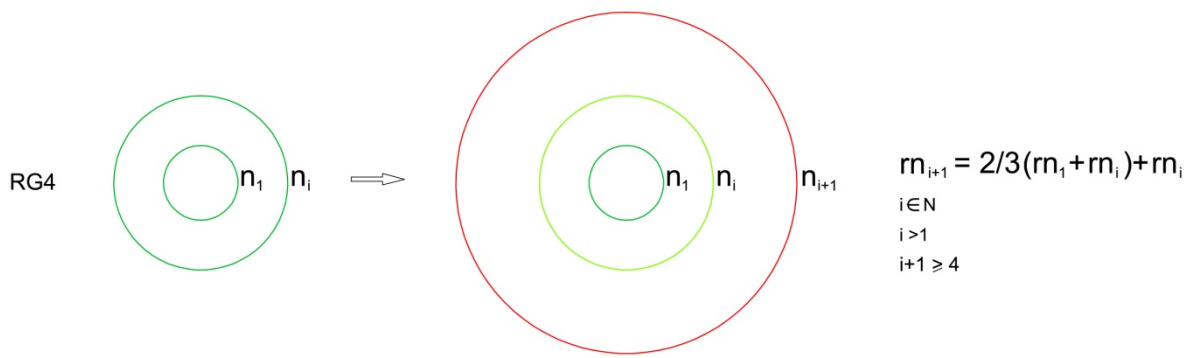


Fig. 8 – Descrição geométrica e algébrica da regra RG4.

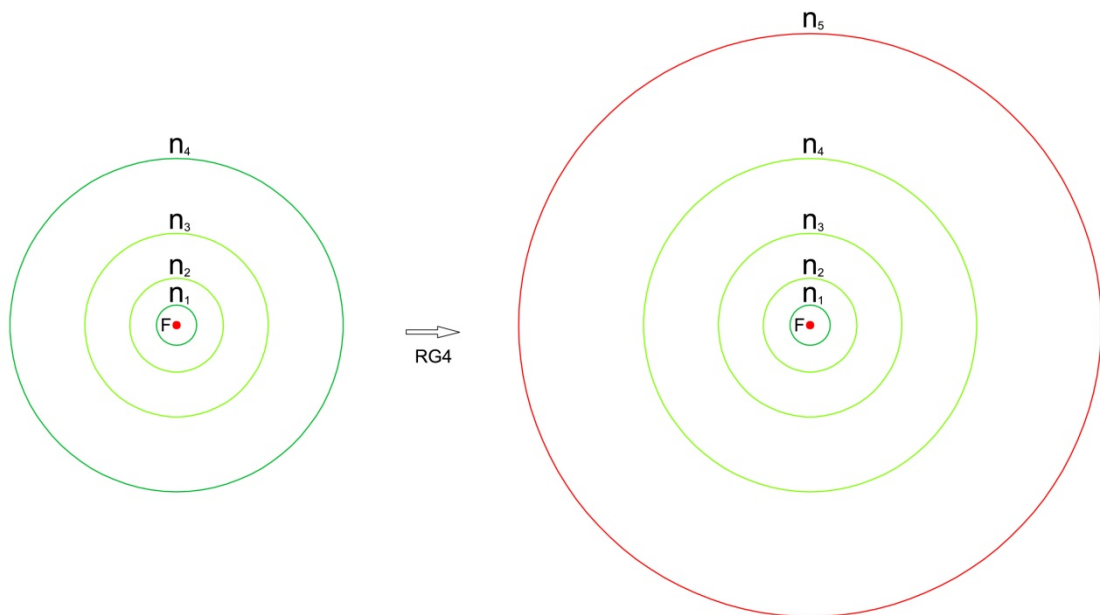


Fig. 9 – Exemplo de aplicação da regra RG4.

Com centro em F, o cálculo da ordem de grandeza de rn_5 foi feito do seguinte modo:

$$rn_5 = \frac{2}{3}(rn_1 + rn_4) + rn_4$$

1.2 Definição de subníveis de expansão

Nas estruturas vivas, os intervalos de expansão entre dois níveis de expansão, muito raramente contêm uma só forma estrutural, mas sim uma cadência de elementos que se repete em intervalos de expansão mais curtos. Essas cadências de elementos, apesar de não estarem limitadas diretamente pelos níveis de expansão, reproduzem as suas qualidades geométricas, o que sugere que são guiadas por outros níveis muito similares aos níveis de expansão. Portanto, os intervalos de expansão também podem ser repartidos em subintervalos de expansão. A estas guias de organização secundária, a gramática designa de subníveis de expansão (fig. 10).

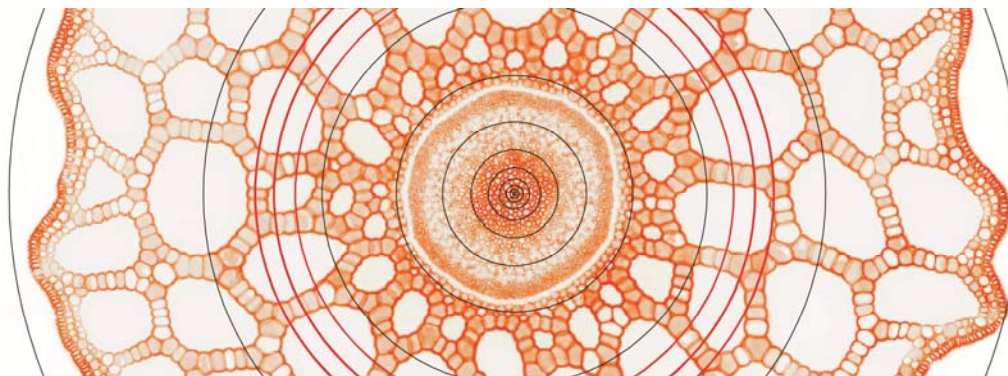


Fig. 10 – Representação esquemática da existência de subníveis de expansão.

– RG5 - Definição do primeiro subnível de expansão com referência em n_1 .

A definição do primeiro subnível de expansão pode ser realizada logo no primeiro intervalo de expansão da base estrutural $[n_1, n_2]$. A definição de subníveis de expansão obedece a um cálculo de ordem de grandeza distinto do efetuado nos níveis de expansão. A geração de um segundo nível de expansão descrita na regra RG2, define a dimensão do diâmetro de n_1 como a referência proporcional na definição de n_2 . No caso os subníveis de expansão, definidos a partir de n_1 , terão como referência de cálculo da sua ordem de grandeza a dimensão do raio de n_1 . A ordem de grandeza do subnível de expansão será definida mediante uma relação proporcional “y” (1/2 e 2/3) do raio de n_1 . Sendo a ordem de grandeza, a dimensão medida sobre a linha de raio, a localização do subnível de expansão ($s_1 n_1$) face ao centro geométrico da composição é definida do seguinte modo: $rs_1 n_1 = y \cdot rn_1 + rn_1$.

Para evitar que o arco referencial n_1 , gere continuamente o mesmo subnível de expansão após a aplicação da regra, a cor do nível de expansão n_1 muda, passando de verde escuro para verde claro (fig. 11 e 12).

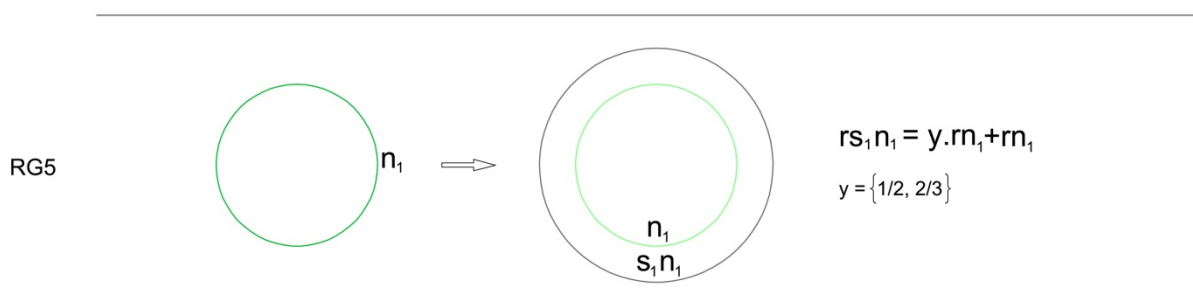


Fig. 11 – Descrição geométrica e algébrica da regra RG5

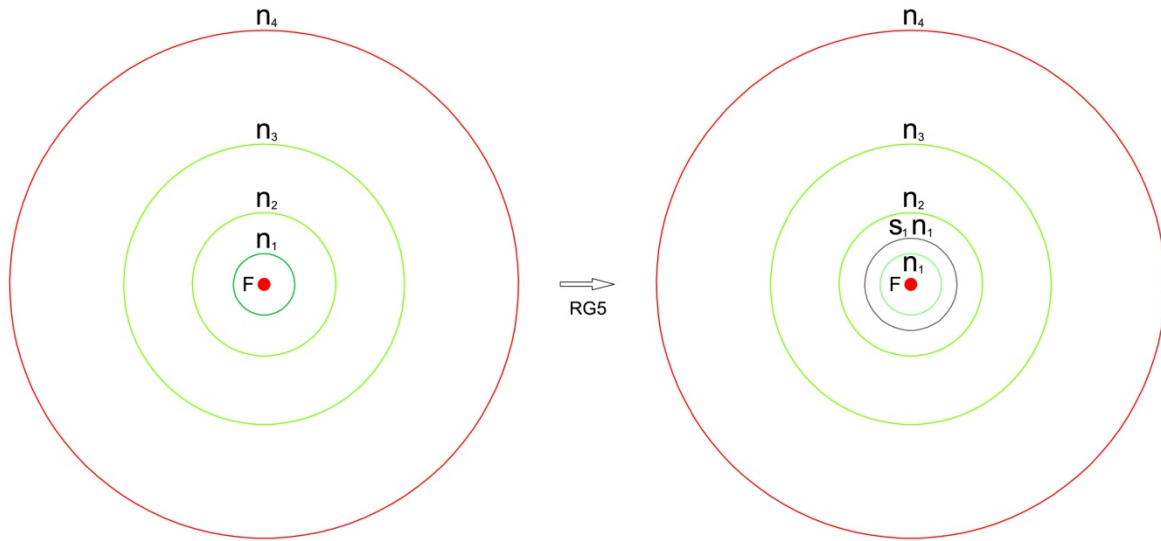


Fig. 12 – Exemplo de aplicação da regra RG5.

Com centro em F, o cálculo da ordem de grandeza de S_1n_1 foi feita do seguinte modo:

$$rs_1n_1 = 1/2 \cdot rn_1 + rn_1$$

_ RG6 - Definição do único subnível de expansão com referência em n_1 .

O intervalo de expansão $[n_1, n_2]$ pode conter também, apenas um subnível de expansão (S_1n_1). A ordem de grandeza do subnível de expansão terá sempre como referência $2/3$ do raio do nível de expansão n_1 . Assim sendo, a sua localização do subnível de expansão (S_1n_1) face ao centro geométrico da composição pode ser definida do seguinte modo: $rs_1n_1 = 2/3 rn_1 + rn_1$.

Para que o arco referencial n_1 , não continue a gerar repetidamente o mesmo subnível de expansão após a aplicação da regra, a cor do nível de expansão n_1 muda, passando de verde escuro para verde claro (fig. 13 e 14).

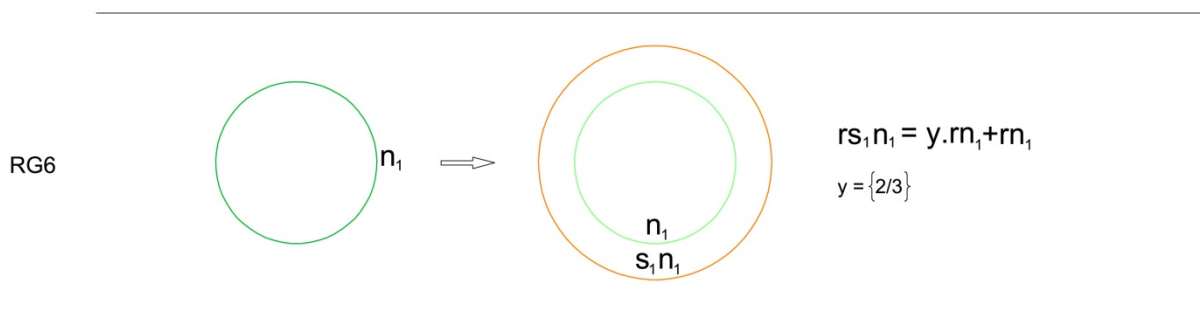


Fig. 13 – Descrição geométrica e algébrica da regras RG6.

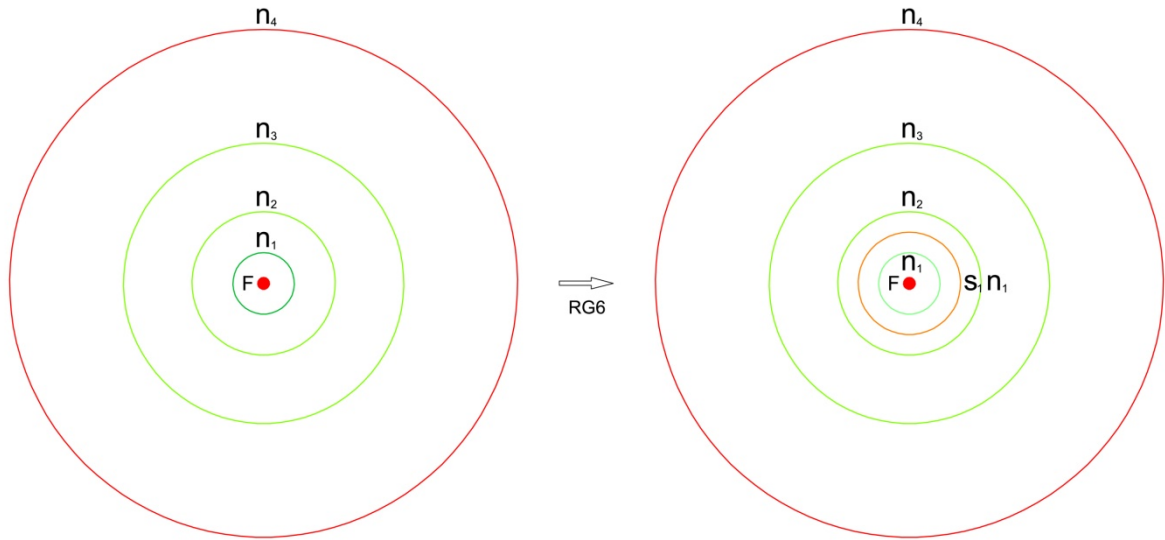


Fig. 14 – Exemplo de aplicação da regra RG6.

Com centro em F, o cálculo da ordem de grandeza de S_1n_1 foi feita do seguinte modo:

$$rs_1n_1 = 2/3 \cdot rn_1 + rn_1$$

– *RG7 - Definição do primeiro subnível de expansão com referência em n_2 .*

Podem existir casos, em que o primeiro nível de expansão da base estrutural apenas seja definido no intervalo de expansão $[n_2, n_3]$. A ordem de grandeza do subnível de expansão será definida mediante uma relação proporcional “y” (1/2, 2/3 e 3/4) da ordem de grandeza do intervalo de expansão $[n_1, n_2]$. Sendo a ordem de grandeza, a dimensão medida sobre uma linha de raio, entre o perímetro dos dois níveis de expansão que antecedem o subnível em geração, a localização deste (S_1n_2) face ao centro geométrico da composição é definida do seguinte modo: $rs_1n_2 = y (rn_2 - rn_1) + rn_2$.

Para evitar que o lado A da regra localize a mesma descrição geométrica anterior à aplicação da regra e assim gere continuamente novos subníveis de expansão com a mesma designação, esta também inclui a alteração de cor do nível de expansão n_2 , mudando-lhe a tonalidade do verde (fig. 15 e 16).

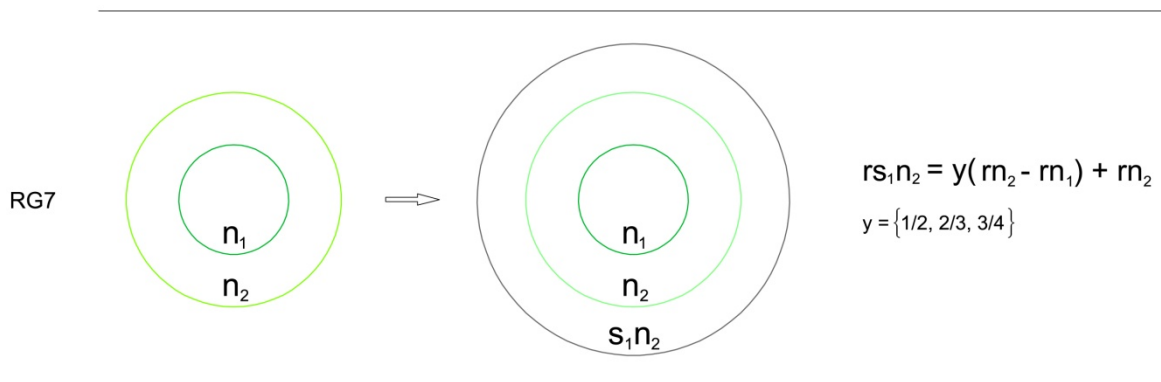


Fig. 15 – Descrição geométrica e algébrica da regra RG7.

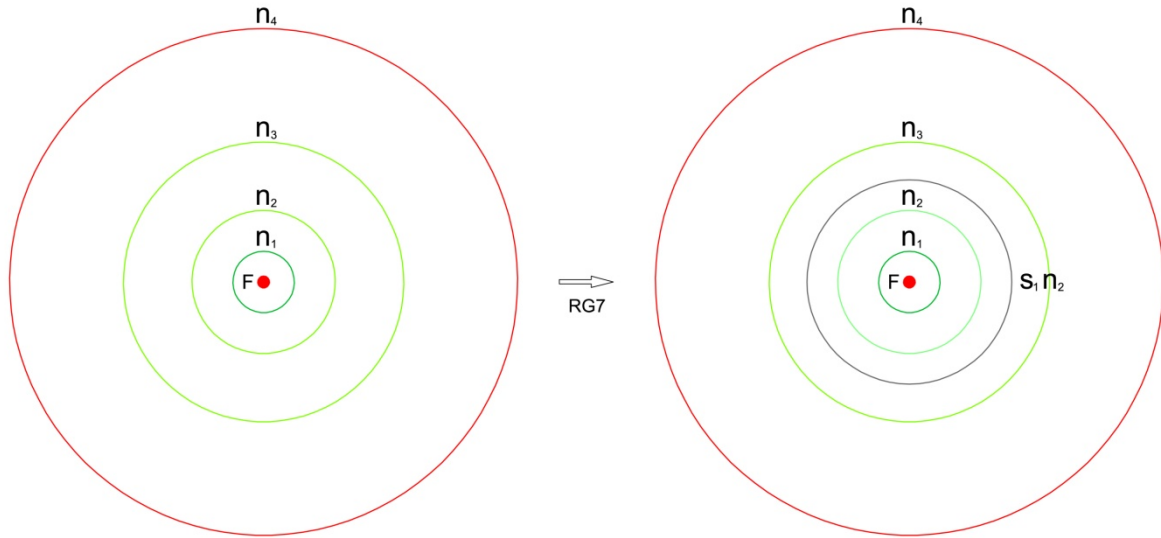


Fig. 16 – Exemplo de aplicação da regra RG7.

Com centro em F, o cálculo da ordem de grandeza de S_1n_2 foi feita do seguinte modo:

$$rs_1n_2 = 3/4.(rn_2 - rn_1) + rn_2$$

_ RG8 - Definição do único subnível de expansão com referência em n_2 .

Sempre que o intervalo de expansão $[n_1, n_2]$ não tenha gerado subníveis de expansão é possível gerar no intervalo de expansão $[n_2, n_3]$ apenas um único nível de expansão. Para tal, o intervalo de expansão $[n_1, n_2]$ e o subintervalo de expansão $[n_2, S_1n_2]$ têm que ter a mesma ordem de grandeza. Sendo a ordem de grandeza, a dimensão medida sobre uma linha de raio, entre o perímetro dos dois níveis de expansão que antecedem o subnível em geração, a localização deste (S_1n_2) face ao centro geométrico da composição é definida do seguinte modo: $rs_1n_2 = (rn_2 - rn_1) + rn_2$.

Para que após a aplicação da regra, esta não possa gerar continuamente, por sobreposição, o mesmo subnível de expansão, a regra também inclui a alteração de cor do nível de expansão n_2 , mudando-lhe a tonalidade do verde (fig. 17 e 18).

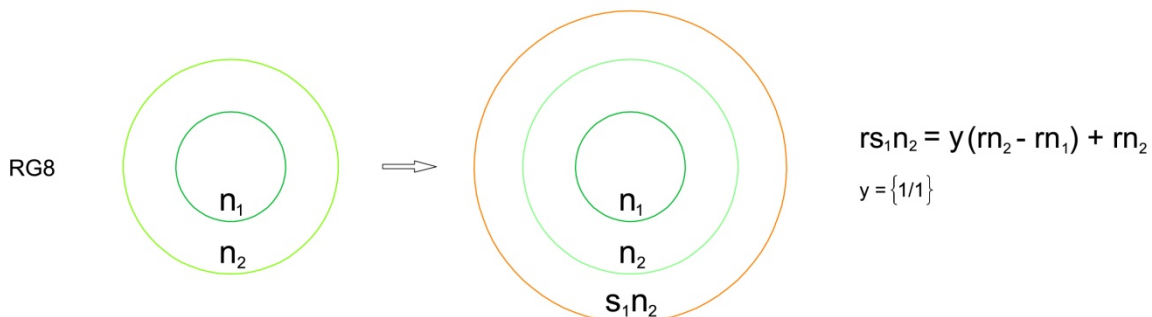


Fig. 17 – Descrição geométrica e algébrica da regra RG8.

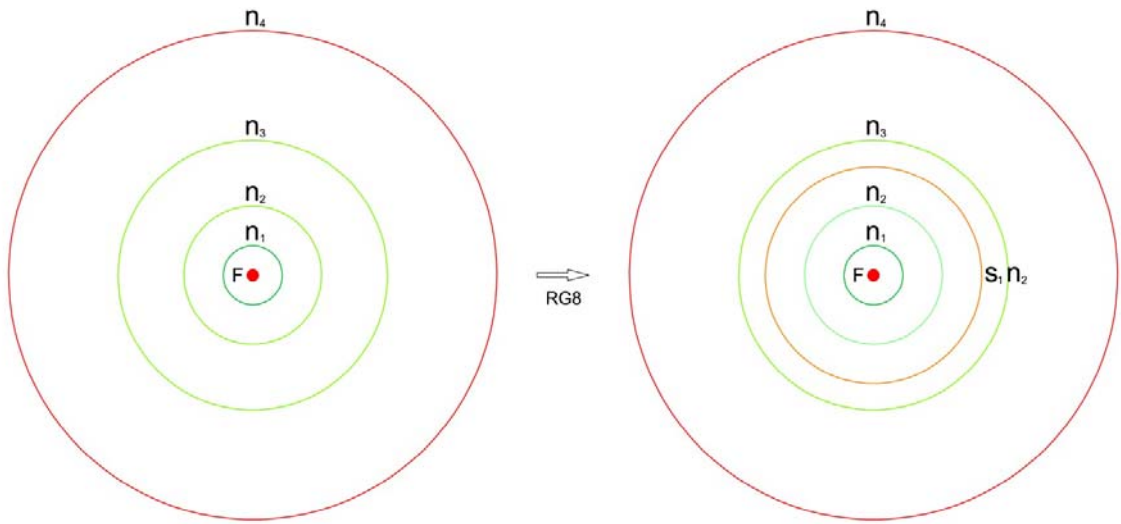


Fig. 18 – Exemplo de aplicação da regra RG8.

Com centro em F, o cálculo da ordem de grandeza de S_1n_2 foi feita do seguinte modo:

$$rs_1n_2 = (rn_2 - rn_1) + rn_2$$

– *RG9 – Definição de um segundo subnível de expansão num intervalo de expansão $[n_i, n_{i+1}]$, tendo como referência a relação proporcional entre o nível de expansão (n_i) e o primeiro subnível de expansão (S_1n_i) .*

A definição de um segundo subnível de expansão (S_2n_i) num intervalo de expansão $[n_i, n_{i+1}]$, têm sempre como referência o subnível (S_1n_i) e o nível (n_i) de expansão que o antecedem. A geração desse novo subnível de expansão (S_2n_i) requer as seguintes condições: primeiro, este tem que estar contido no intervalo de expansão $[n_i, n_{i+1}]$ e segundo, a ordem de grandeza do subintervalo de expansão $[S_2n_i, n_{i+1}]$ deve ser maior ou igual que a metade da ordem de grandeza do subintervalo de expansão $[S_1n_i, S_2n_i]$. A ordem de grandeza do novo subnível de expansão será definida mediante uma relação proporcional “y” (1/2, 2/3, 3/4 e 1/1) da ordem de grandeza do subintervalo de expansão $[n_i, S_1n_i]$. Sendo a ordem de grandeza, a dimensão medida sobre uma linha de raio, entre o perímetro do nível e do subnível de expansão que antecedem o novo em geração, a localização deste (S_2n_i) face ao centro geométrico da composição é definida do seguinte modo: $rs_2n_i = y(rs_1n_i - rn_i) + rs_1n_i$.

Para que a regra não volte a identificar a mesma descrição geométrica definida no lado A da regra e assim continuar a gerar a partir das mesmas referências novos subníveis com a mesma designação, mas de igual ou diferentes ordens de grandeza, a cor do subnível de expansão S_1n_i muda, passando de preto para rosa escuro (fig. 19 e 20).

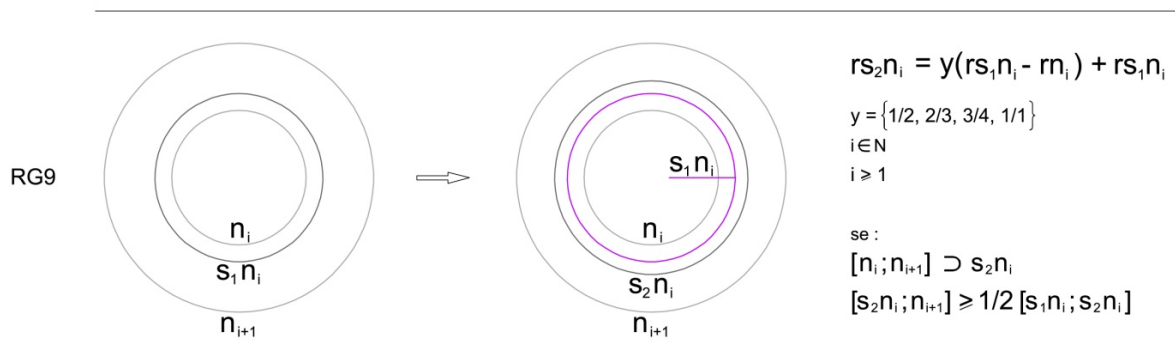


Fig. 19 – Descrição geométrica e algébrica da regra RG9.

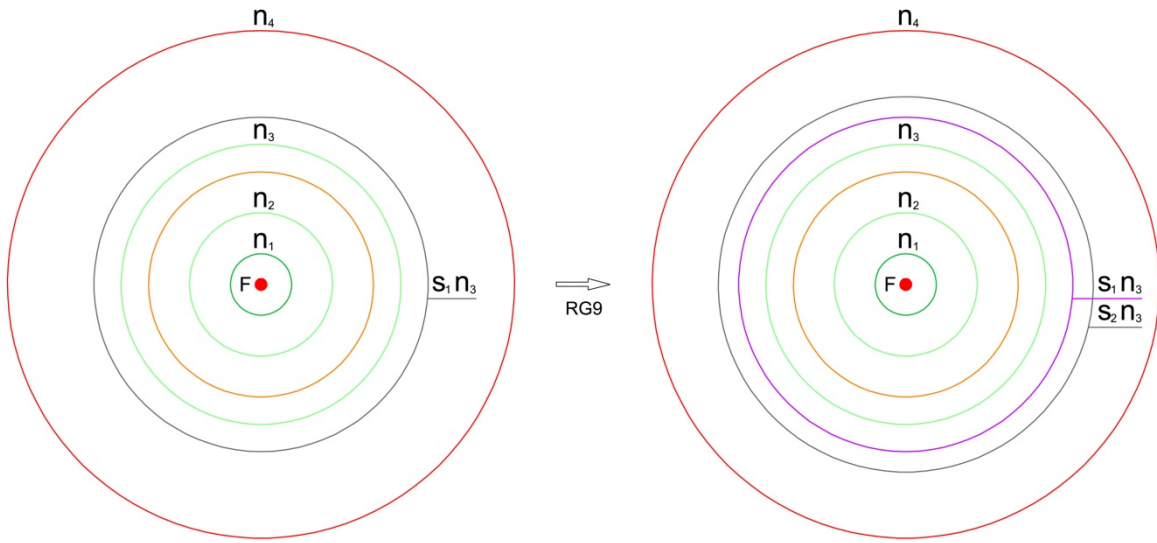


Fig. 20 – Exemplo de aplicação da regra RG9.

Com centro em F, o cálculo da ordem de grandeza de S_2n_3 foi feita do seguinte modo:

$$rs_2n_3 = 3/4(rs_1n_3 - rn_3) + rs_1n_3$$

_ RG10 – Definição do último subnível de expansão num intervalo de expansão $[n_i, n_{i+1}]$ que contem apenas um subnível de expansão (S_1n_i).

Nos intervalos de expansão iniciais, é possível gerar soluções estruturais apenas com dois subníveis de expansão. Nestes casos, a definição do segundo e último nível de expansão no intervalo de expansão $[n_i, n_{i+1}]$, terá sempre como referência o subnível (S_1n_i) e o nível (n_i) de expansão que antecede. A geração do subnível de expansão (S_2n_i) requer as seguintes condições: primeiro, o novo subnível de expansão (S_2n_i) tem que estar contido no intervalo de expansão $[n_i, n_{i+1}]$, segundo, a ordem de grandeza do subintervalo de expansão $[S_2n_i, n_{i+1}]$ deve ser menor ou igual que a ordem de grandeza do subintervalo de expansão $[S_1n_i, S_2n_i]$ e por fim, a ordem de grandeza do subintervalo de expansão $[S_2n_i, n_{i+1}]$ a dividir pela ordem de grandeza do subintervalo de expansão $[S_1n_i, S_2n_i]$ deve ficar compreendido entre 0.5 e 1, inclusive. A ordem de grandeza do novo subnível de expansão será definida mediante uma relação proporcional “y” (1/2, 2/3, 3/4 e 1/1) da ordem de grandeza do subintervalo de expansão $[n_i, S_1n_i]$. Sendo a ordem de grandeza, a dimensão medida sobre uma linha de raio, entre o perímetro do nível e do subnível de expansão que antecedem o novo em geração, a localização deste (S_2n_i) face ao centro geométrico da composição é definida do seguinte modo:

$$rs_2n_i = y(rs_1n_i - rn_i) + rs_1n_i.$$

Para que a regra não volte a identificar a mesma descrição geométrica definida no lado A da regra e assim continuar a gerar a partir das mesmas referências novos subníveis com a mesma designação, mas de igual ou diferentes ordens de grandeza, a cor do subnível de expansão S_1n_i muda, passando de preto para rosa claro (fig. 21 e 22).

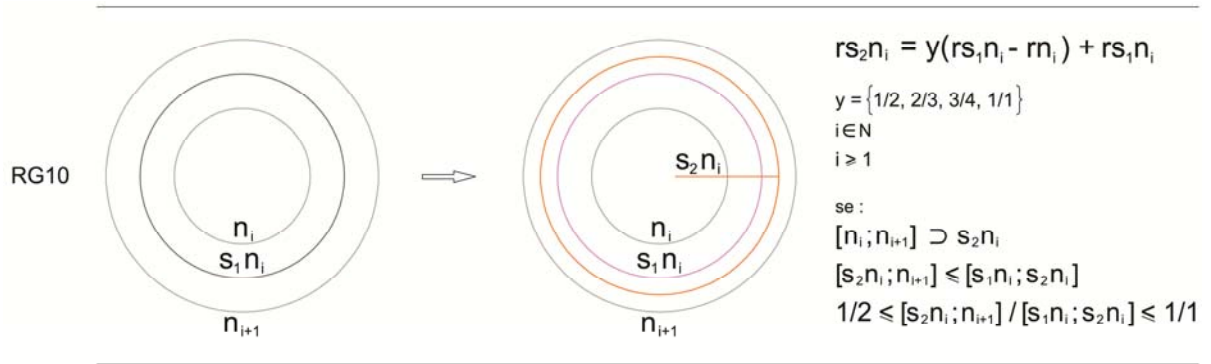


Fig. 21 – Descrição geométrica e algébrica da regra RG10.

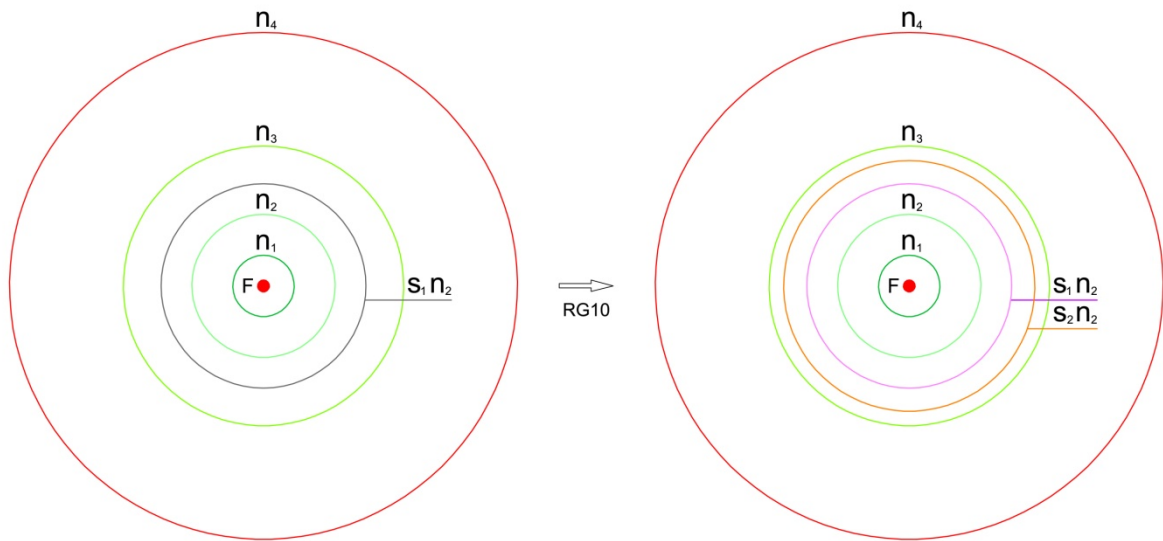


Fig. 22 – Exemplo de aplicação da regra RG10.

Com centro em F, o cálculo da ordem de grandeza de $s_2 n_2$ foi feita do seguinte modo:

$$rs_2 n_2 = 3/4(rs_1 n_2 - rn_2) + rs_1 n_2$$

_ RG11 – Definição de um subnível de expansão num intervalo de expansão $[n_i, n_{i+1}]$, tendo como referência a relação proporcional entre os dois subníveis de expansão anteriores.

Quando num intervalo de expansão $[n_i, n_{i+1}]$, já estiverem definidos pelo menos dois subníveis de expansão, onde o último não seja representado com a cor laranja, significa que esse intervalo ainda admite a geração de mais subníveis de expansão. Para se gerar um subnível de expansão $(s_{j+2}n_i)$ referenciado nos dois subníveis de expansão anteriores $(s_j n_i)$ e $(s_{j+1}n_i)$, têm que se verificar as seguintes condições: primeiro, o novo subnível de expansão $(s_{j+2}n_i)$ tem que estar contido no intervalo de expansão $[n_i, n_{i+1}]$, segundo, a ordem de grandeza do subintervalo de expansão $[s_{j+2}n_i, n_{i+1}]$ deve ser maior ou igual que metade da ordem de grandeza do subintervalo de expansão $[s_{j+1}n_i, s_{j+2}n_i]$ e por fim, a ordem de grandeza do subintervalo de expansão $[s_{j+2}n_i, s_{j+1}n_i]$ deve ser menor ou igual que a ordem de grandeza do subintervalo de expansão $[s_{j+1}n_i, s_j n_i]$. A ordem de grandeza do novo subnível de expansão será definida mediante uma relação proporcional “y” (1/2, 2/3, 3/4 e 1/1) da ordem de grandeza do subintervalo de expansão $[s_j n_i, s_{j+1}n_i]$. Sendo a ordem de grandeza, a dimensão medida sobre uma linha de raio entre o perímetro dos dois subníveis que

antecedem o novo em geração, a localização deste ($S_{j+2}n_i$) face ao centro geométrico da composição é definida do seguinte modo: $rs_{j+2}n_i = y(rs_{j+1}n_i - rs_jn_i) + rs_{j+1}n_i$.

Para que a regra não volte a identificar a mesma descrição geométrica definida no lado A da regra e assim continuar a gerar outros subníveis com a mesma ou diferentes ordens de grandeza a partir dos mesmos referenciais, a cor dos subníveis de expansão S_jn_i e $S_{j+1}n_i$ mudam, passando o primeiro de rosa escuro para rosa claro e o segundo de preto para rosa escuro (fig. 23 e 24).

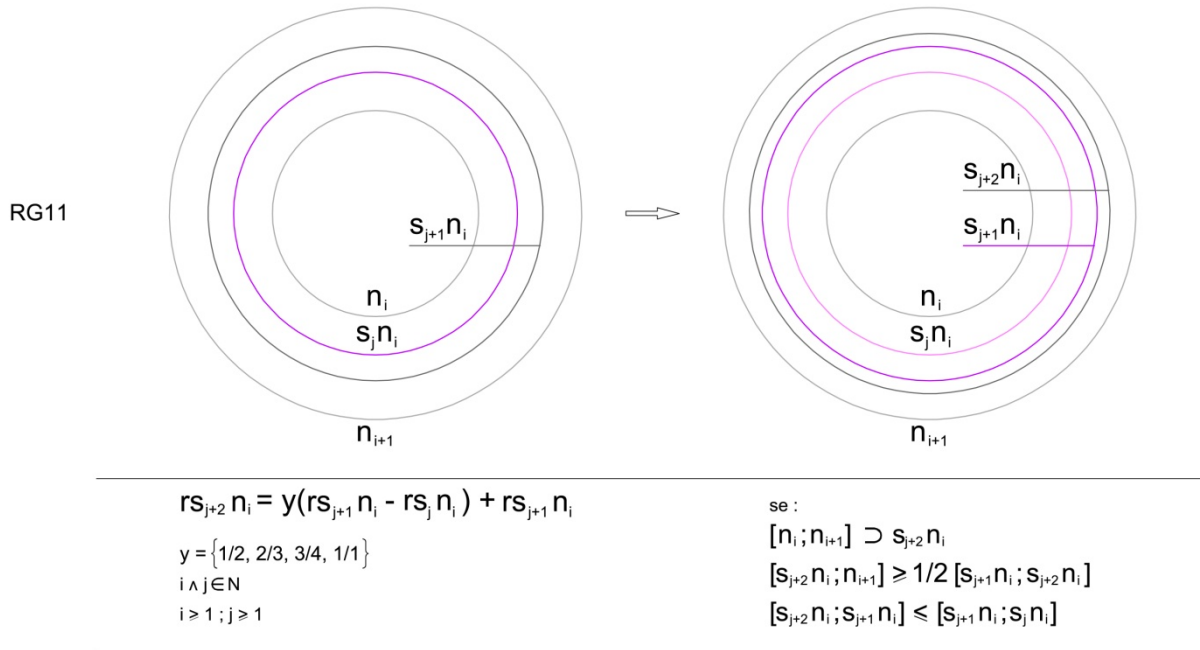


Fig. 23 – Descrição geométrica e algébrica da regra RG11.

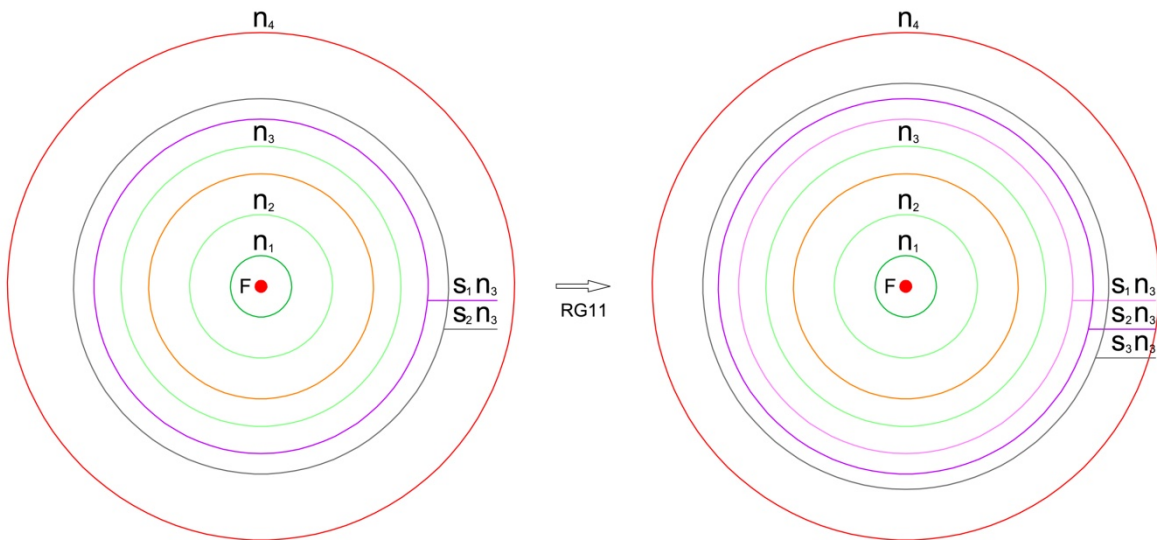


Fig. 24 – Exemplo de aplicação da regra RG11.

Com centro em F, o cálculo da ordem de grandeza de S_3n_3 foi feita do seguinte modo:

$$rs_3n_3 = 3/4(rs_2n_3 - rs_1n_3) + rs_2n_3$$

– RG12 – Definição do último subnível de expansão num intervalo de expansão $[n_i, n_{i+1}]$, tendo como referência a relação proporcional entre os dois subníveis de expansão anteriores.

Numa situação idêntica à da regra RG11, a existência de pelo menos dois níveis de expansão no intervalo de expansão $[n_i, n_{i+1}]$, em que o último subnível de expansão também não seja representado com a cor laranja, pode-se gerar um subnível de expansão $(s_{j+2}n_i)$, referenciado nos dois anteriores $(s_jn_i$ e $s_{j+1}n_i)$, impondo a condição de ser o último nível de expansão a ser introduzido nesse intervalo de expansão. A geração de um novo subnível de expansão $(s_{j+2}n_i)$ requer as seguintes condições: primeiro, o novo subnível de expansão $(s_{j+2}n_i)$ tem que estar contido no intervalo de expansão $[n_i, n_{i+1}]$, segundo, a ordem de grandeza do subintervalo de expansão $[s_{j+2}n_i, n_{i+1}]$ deve ser menor ou igual que a ordem de grandeza do subintervalo de expansão $[s_{j+1}n_i, s_{j+2}n_i]$ e por fim, a ordem de grandeza do subintervalo de expansão $[s_{j+2}n_i, n_{i+1}]$ a dividir pela ordem de grandeza do subintervalo de expansão $[s_{j+2}n_i, s_{j+1}n_i]$ deve ficar compreendido entre 0.5 e 1, inclusive. A ordem de grandeza do novo subnível de expansão será definida mediante uma relação proporcional “y” (1/2, 2/3, 3/4 e 1/1) da ordem de grandeza do subintervalo de expansão $[s_jn_i, s_{j+1}n_i]$. Sendo a ordem de grandeza, a dimensão medida sobre uma linha de raio, entre o perímetro dos dois subníveis que antecedem o novo em geração, a localização deste $(s_{j+2}n_i)$ face ao centro geométrico da composição é definida do seguinte modo: $rs_{j+2}n_i = y(rs_{j+1}n_i - rs_jn_i) + rs_{j+1}n_i$.

Para evitar que o lado A da regra localize a mesma descrição geométrica anterior à aplicação da regra, a cor do perímetro dos subníveis de expansão s_jn_i e $s_{j+1}n_i$ muda, passando de rosa escuro, para rosa claro. A consequência da não aplicação desta alteração seria uma contínua geração de outros subníveis de expansão de igual designação, com a mesma ou diferentes ordens de grandeza (fig. 25 e 26).

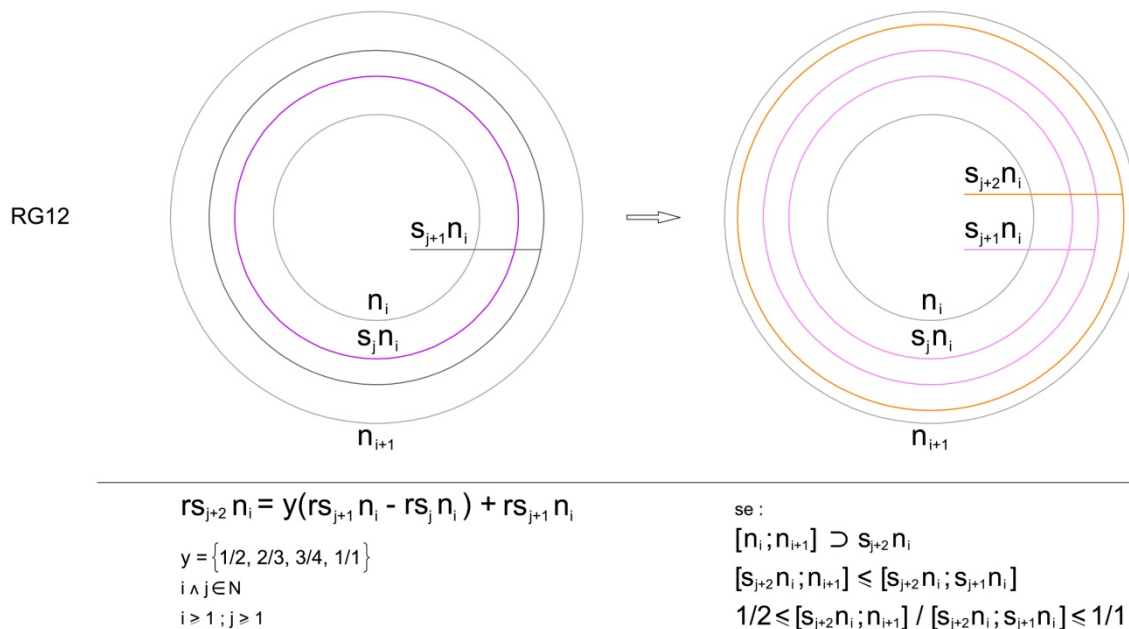


Fig. 25 – Descrição geométrica e algébrica da regra RG12.

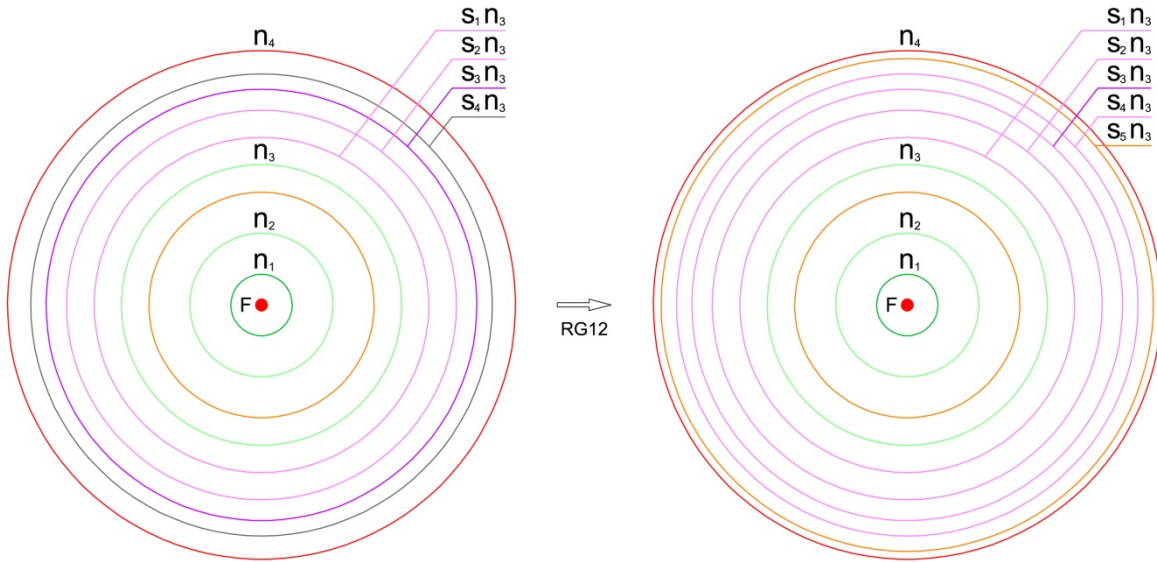


Fig. 26 – Exemplo de aplicação da regra RG12.

Com centro em F, o cálculo da ordem de grandeza de s_4n_3 foi feita do seguinte modo:

$$rs_4n_3 = 1/1(rs_3n_3 - rs_2n_3) + rs_3n_3$$

– **RG13** – Definição do primeiro subnível de expansão num intervalo de expansão $[n_i, n_{i+1}]$, tendo como referência a relação proporcional entre o último subnível de expansão do intervalo de expansão anterior e o nível de expansão n_i .

A definição do primeiro subnível de expansão (s_1n_i) de um intervalo de expansão é sempre referenciado no nível de expansão n_i e no último subnível de expansão (s_jn_{i-1}) do intervalo de expansão, desde que n_i não seja n_1 (ver RG5). A ordem de grandeza do novo subnível de expansão será definida mediante uma relação proporcional “y” (1/2, 2/3, 3/4 e 1/1) da ordem de grandeza do subintervalo de expansão $[s_jn_{i-1}, n_i]$. Sendo a ordem de grandeza, a dimensão medida sobre uma linha de raio, entre o perímetro do subnível e do nível de expansão que antecedem o novo em geração, a localização do novo subnível de expansão (s_1n_i) face ao centro geométrico da composição é definida do seguinte modo: $rs_1n_i = y(rs_jn_{i-1} - rs_jn_{i-1}) + rs_jn_{i-1}$.

Para que a regra não volte a identificar a mesma descrição geométrica definida no lado A da regra e assim continuar a gerar a partir das mesmas referências novos subníveis com a mesma designação, mas de igual ou diferentes ordens de grandeza, a cor do nível de expansão n_i muda, passando de verde claro para verde escuro (fig. 27 e 28).

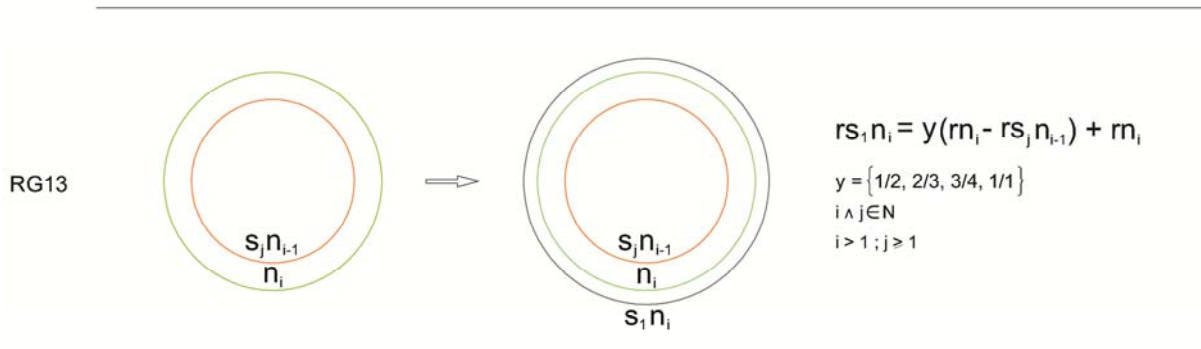


Fig. 27 – Descrição geométrica e algébrica da regra RG13.

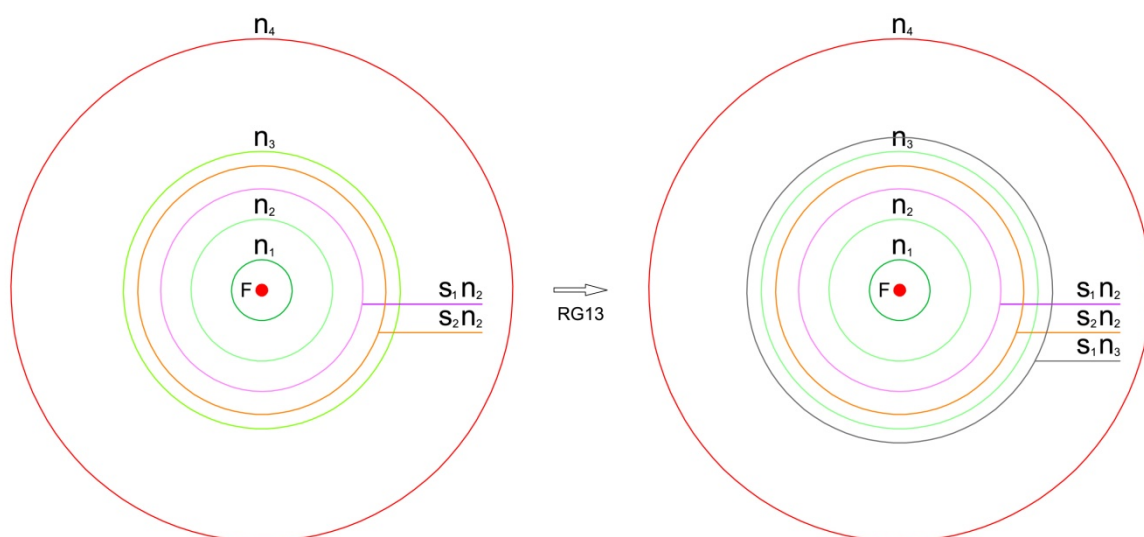


Fig. 28 – Exemplo de aplicação da regra RG13.

Com centro em F, o cálculo da ordem de grandeza de S_1n_3 foi feita do seguinte modo:

$$rs_1n_3 = 1/1(rn_3 - rs_2n_2) + rn_3$$

Exemplos de bases estruturais geradas com as 13 regras.

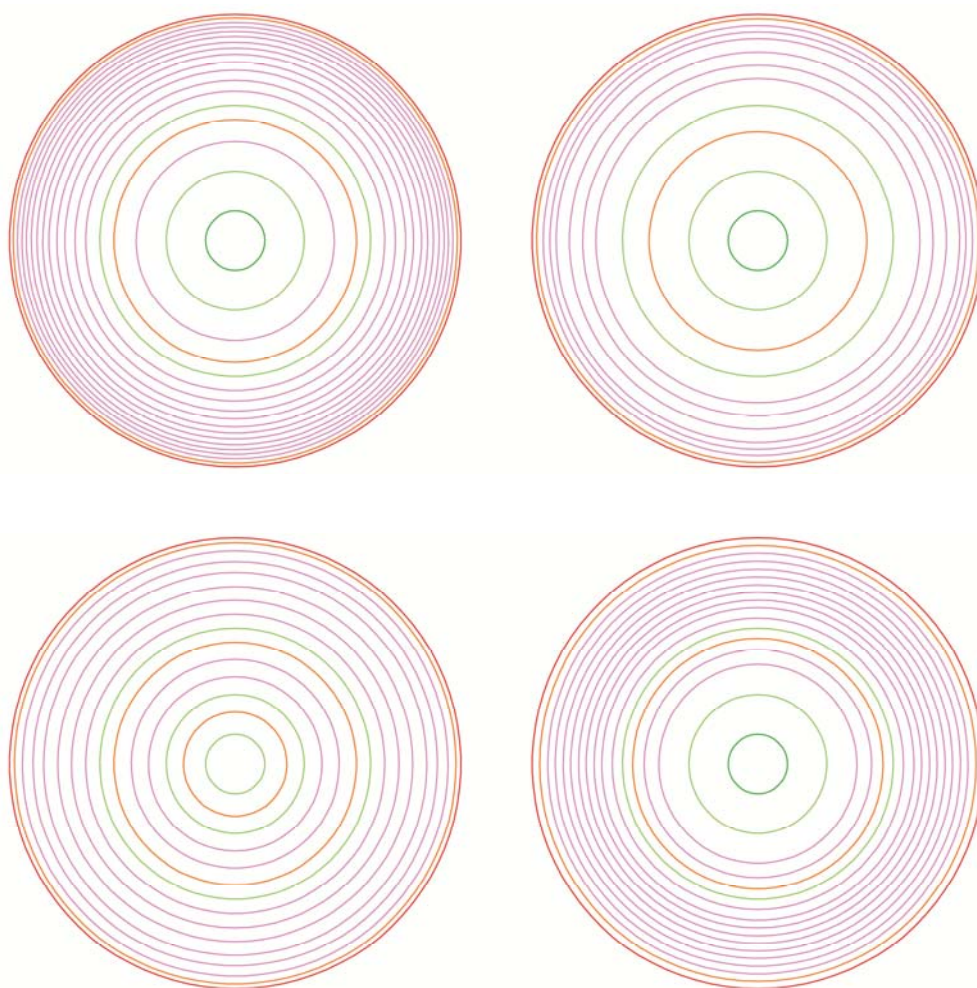


Fig. 29 – Exemplo de 4 bases estruturais geradas com as regras anteriores (RG1 a RG13).

As 13 regras descritas demonstram que as bases estruturais são organizadas com o intuito de em conjunto produzirem um efeito gradiente (ver ponto 3.2.2.1.1 – Gradientes) através da diminuição progressiva da ordem de grandeza entre os arcos, desde o nível de expansão inicial. Este tipo de efeito será designado por gradiente em decrescente. Contudo, este tipo de gradiente não é único nas estruturas vivas. Uma outra forma de gerar um campo de forças em torno de um centro pode ser feito mediante um efeito de oscilação.

1.3 Efeito gradiente por oscilação

O efeito de oscilação caracteriza-se por uma alternância progressiva e não repentina entre de um efeito gradiente crescente e decrescente. No entanto, para que a oscilação consiga gerar um campo de forças, os intervalos dessas alternâncias, também têm que ser progressivamente maiores. Os níveis de expansão gerados na base estrutural partilham desse aumento progressivo, portanto faz todo o sentido que sejam estes que controlem a proporção das alternâncias de efeito crescente e decrescente que caracterizam a oscilação. Assim sendo, será na ordem de grandeza dos intervalos de expansão, que o efeito de oscilação terá que conter cada uma das suas “ondas”.

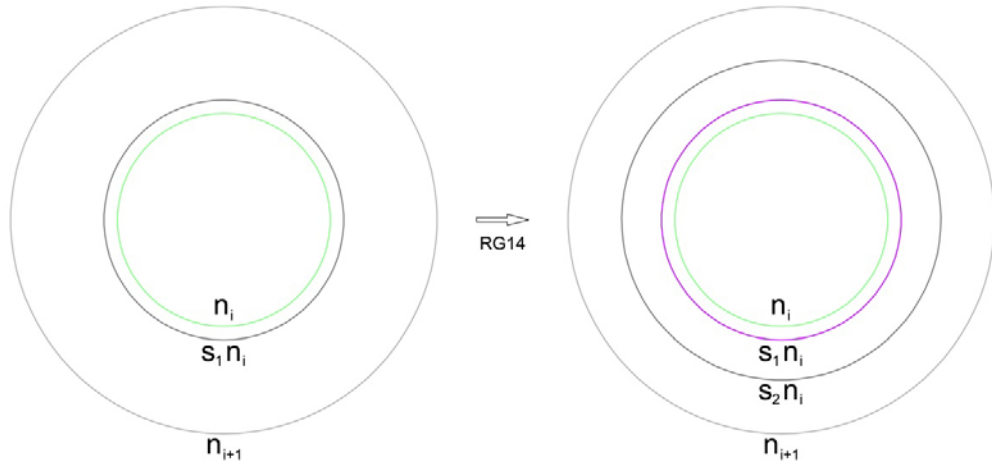
As regras que se seguem (RG14, RG15, RG16, RG17, RG18 e RG19) são essenciais para a geração do efeito de oscilação, mas a base onde vão atuar é idêntica à base com que é gerado o efeito gradiente em decrescente. Isto significa que ambos os tipos de gradientes vão partilhar algumas das regras estruturais, mais concretamente, as regras RG1, RG2, RG3, RG4, referentes à geração dos níveis de expansão e a regra RG6, referente à geração de um único subnível de expansão no intervalo de expansão $[n_1, n_2]$.

— *RG14 – Definição de um segundo subnível de expansão num intervalo de expansão $[n_i, n_{i+1}]$, tendo como referência a relação proporcional entre n_i e o primeiro subnível de expansão $S_1 n_i$.*

A geração de um segundo subnível de expansão segundo um padrão de oscilação, requer um conjunto de requisitos geométricos. Primeiro, a sua geração tem sempre como referência o subnível ($S_1 n_i$) e o nível (n_i) de expansão que o antecedem. Segundo, a aplicabilidade desta regra exige também que o novo subnível de expansão ($S_2 n_i$) esteja contido dentro do intervalo de expansão $[n_i, n_{i+1}]$. Terceiro, a ordem de grandeza do subintervalo de expansão $[S_2 n_i, n_{i+1}]$ deve ser maior ou igual que a metade da ordem de grandeza do subintervalo de expansão $[S_2 n_i, S_1 n_i]$. Por fim, a ordem de grandeza do novo subnível de expansão ($S_2 n_i$) será definida mediante uma relação proporcional “y” (4/3, 3/2, 2, 5/2, 3 e 4) da ordem de grandeza do subintervalo de expansão $[n_i, S_1 n_i]$. Sendo a ordem de grandeza referencial para a localização de novo subnível de expansão ($S_2 n_i$), a dimensão medida sobre uma linha de raio, entre o perímetro do nível (n_i) e subnível ($S_1 n_i$) de expansão que o antecedem, a localização deste face ao centro geométrico da composição será definida do seguinte modo: $rS_2 n_i = y (rS_1 n_i - rn_i) + rS_1 n_i$.

Para que a regra não volte a identificar a mesma descrição geométrica definida no lado A da regra e assim continuar a gerar a partir das mesmas referências, novos subníveis com a mesma designação, mas de igual ou diferentes ordens de grandeza, a cor do subnível de expansão $S_1 n_i$ muda, passando de preto para rosa escuro (fig. 30 e 31).

RG14



$$rs_2 n_i = y(rs_1 n_i - r n_i) + rs_1 n_i$$

$$y = \{4/3, 3/2, 2, 5/2, 3, 4\}$$

$$i \in \mathbb{N}$$

$$i > 1$$

se :

$$[n_i; n_{i+1}] \supset s_2 n_i$$

$$[s_2 n_i; n_{i+1}] \geq 1/2 [s_2 n_i; s_1 n_i]$$

Fig. 30 – Descrição geométrica e algébrica da regra RG14.

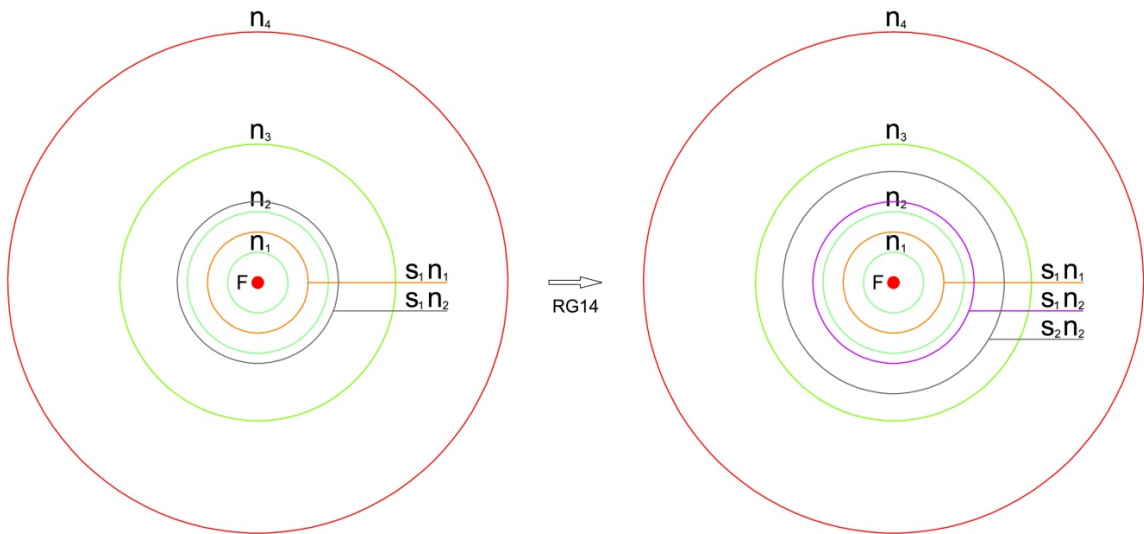


Fig. 31 – Exemplo de aplicação da regra RG14.

Com centro em F, o cálculo da ordem de grandeza de $s_2 n_2$ foi feita do seguinte modo:

$$rs_2 n_2 = 3(rs_1 n_2 - r n_2) + rs_1 n_2$$

_ RG15 – Definição do último subnível de expansão num intervalo de expansão $[n_i, n_{i+1}]$ só com um subnível de expansão.

Nos intervalos de expansão iniciais, é possível gerar efeito de oscilação, com a definição de apenas dois subníveis de expansão. Para tal, é necessário que se verifiquem um conjunto de condições para o segundo subnível de expansão ($s_2 n_i$). Primeiro, a sua geração tem que ser sempre referenciado no subnível ($s_1 n_i$) e o nível (n_i) de expansão que o antecedem. Segundo, é obrigatório que o novo subnível de expansão ($s_2 n_i$) esteja contido dentro do intervalo de expansão $[n_i, n_{i+1}]$. Terceiro, a ordem de grandeza do subintervalo de expansão $[s_2 n_i, n_{i+1}]$ deve ser menor ou igual à ordem de grandeza do subintervalo de expansão $[s_2 n_i, s_1 n_i]$. Por fim, a ordem de grandeza do novo

subnível de expansão (S_2n_i) será definida mediante uma relação proporcional “y” ($4/3, 3/2, 2, 5/2, 3$ e 4) da ordem de grandeza do subintervalo de expansão $[n_i, S_1n_i]$. Sendo a ordem de grandeza referencial para a localização de novo subnível de expansão (S_2n_i), a dimensão medida sobre uma linha de raio, entre o perímetro do nível (n_i) e subnível (S_1n_i) de expansão que o antecedem, a localização deste face ao centro geométrico da composição será definida do seguinte modo: $rs_2n_i = y(rs_1n_i - rn_i) + rs_1n_i$.

Para que a regra não volte a identificar a mesma descrição geométrica definida no lado A da regra e assim continuar a gerar a partir das mesmas referências, novos subníveis com a mesma designação, mas de igual ou diferentes ordens de grandeza, a cor do subnível de expansão S_1n_i muda, passando de preto para rosa claro (fig. 32 e 33).

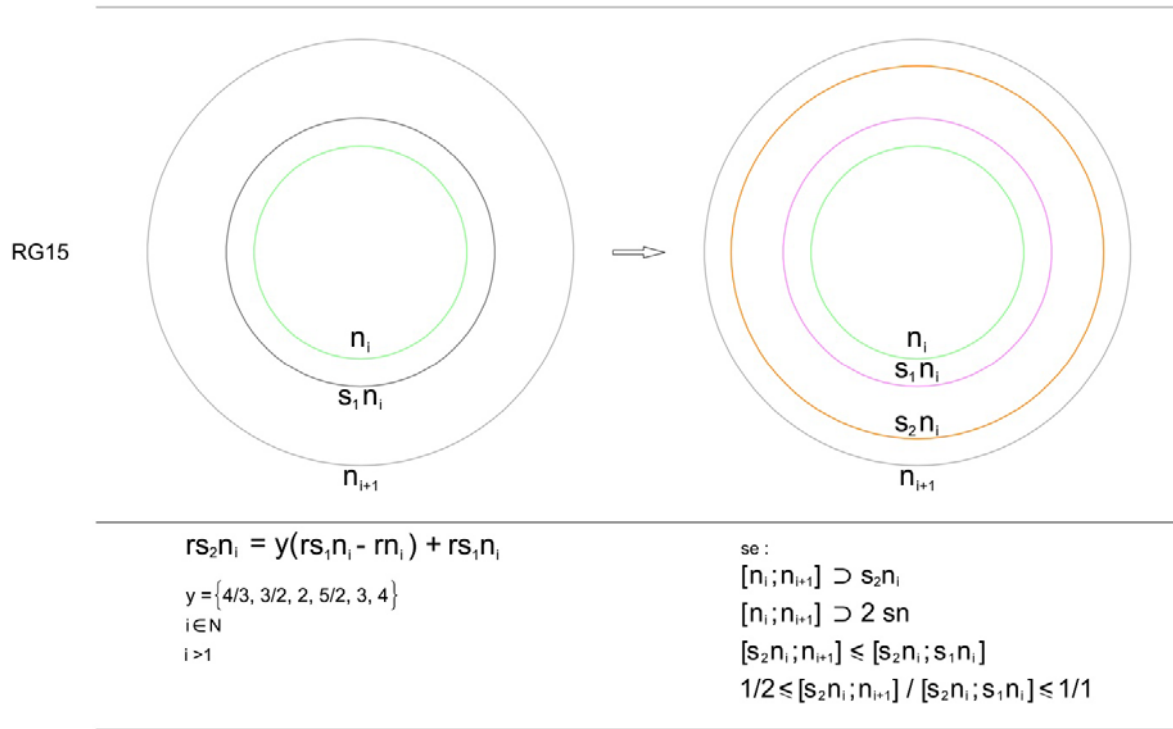


Fig. 32 – Descrição geométrica e algébrica da regra Rg15.

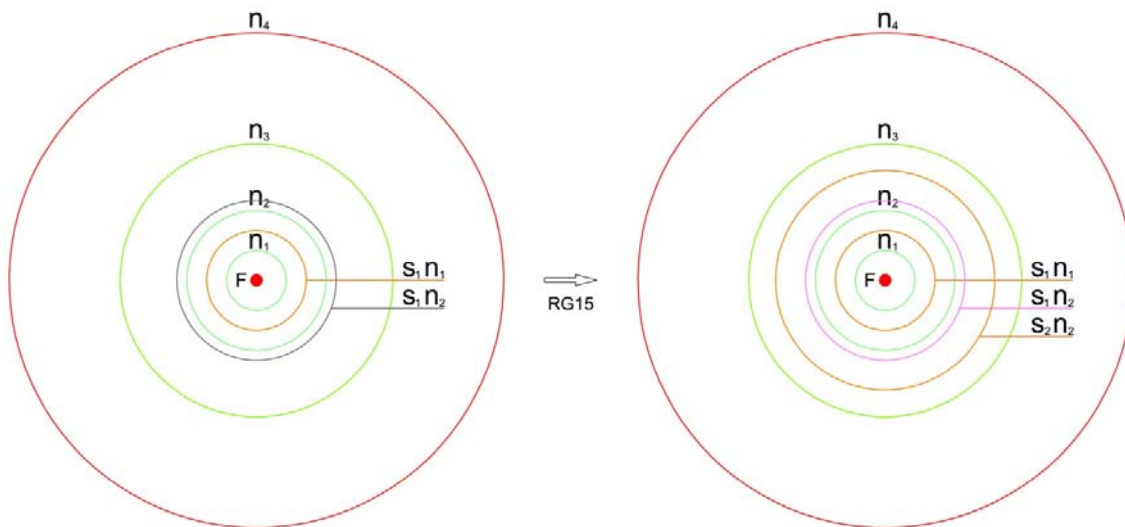


Fig. 33 – Exemplo de aplicação da regra RG15.

Com centro em F, o cálculo da ordem de grandeza de S_2n_2 foi feita do seguinte modo:

$$rs_2n_2 = 3(rs_1n_2 - rn_2) + rs_1n_2$$

– RG16 – Definição de um subnível de expansão num intervalo de expansão $[n_i, n_{i+1}]$, onde o subnível de expansão de referência está situado, em relação a n_i , a uma distância superior a metade do $n_{i+1} - n_i$.

A definição de um terceiro subnível de expansão ($s_{j+2}n_i$) dentro de um intervalo de expansão $[n_i, n_{i+1}]$, tendo como referência os dois subníveis de expansão que o antecedem (s_jn_i e $s_{j+1}n_i$), está dependente da localização do subnível de expansão que o antecede ($s_{j+1}n_i$) no intervalo de expansão $[n_i, n_{i+1}]$. Se o perímetro do subnível de expansão $s_{j+1}n_i$, com referência no nível de expansão n_i , encontra-se a mais de metade da distância que une o perímetro dos níveis de expansão n_i e n_{i+1} , mediante uma linha de raio, a localização do novo subnível de expansão ($s_{j+2}n_i$) deve ter em conta as seguintes condicionantes: primeiro, a ordem de grandeza do subintervalo de expansão $[s_{j+2}n_i, n_{i+1}]$ tem que ser maior ou igual à metade da ordem de grandeza do subintervalo de expansão $[s_{j+1}n_i, s_{j+2}n_i]$. Segundo, a ordem de grandeza do novo subnível de expansão ($s_{j+2}n_i$) será definida mediante uma relação proporcional “y” (1/2, 2/3, 3/4, e 1/1) da ordem de grandeza do subintervalo de expansão $[s_jn_i, s_{j+1}n_i]$. Sendo a ordem de grandeza referencial para a localização de novo subnível de expansão ($s_{j+2}n_i$), a dimensão medida sobre uma linha de raio, entre o perímetro dos subníveis de expansão que o antecedem (s_jn_i e $s_{j+1}n_i$), a localização deste face ao centro geométrico da composição será definida do seguinte modo: $rs_{j+2}n_i = y(rs_{j+1}n_i - rs_jn_i) + rs_{j+1}n_i$.

Para que a regra não volte a identificar a mesma descrição geométrica definida no lado A da regra e assim continuar a gerar outros subníveis com a mesma ou diferentes ordens de grandeza a partir dos mesmos referenciais, a cor dos subníveis de expansão s_jn_i e $s_{j+1}n_i$ mudam, passando o primeiro de rosa escuro para rosa claro e o segundo de preto para rosa escuro (fig. 34 e 35).

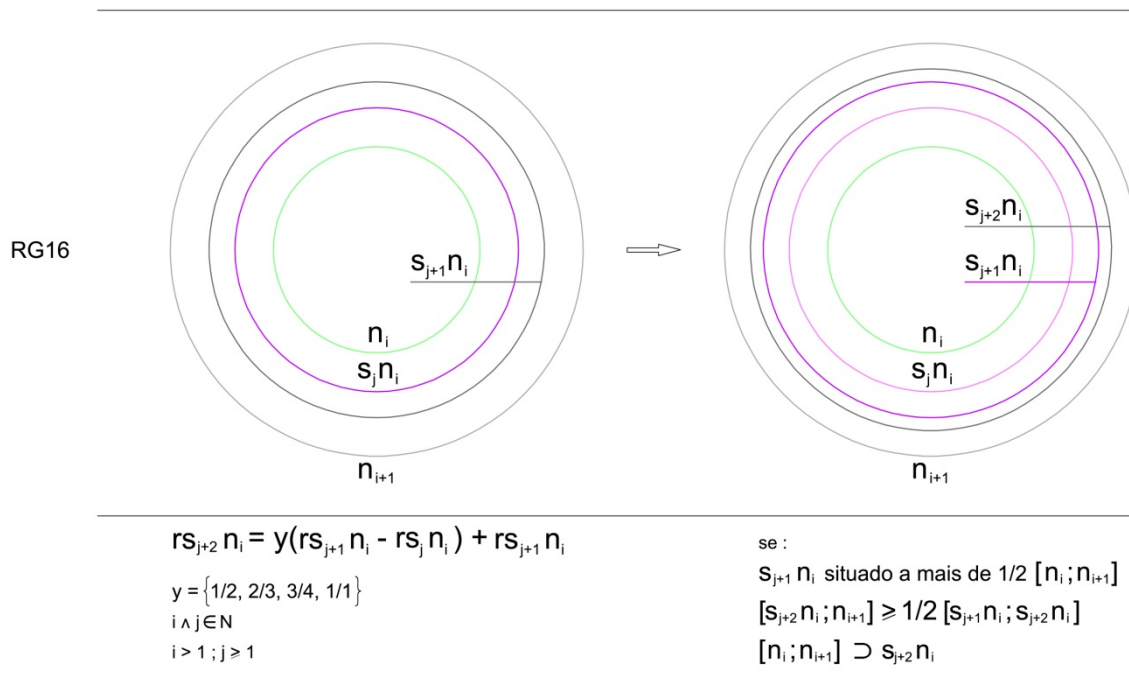


Fig. 34 – Descrição geométrica e algébrica da regra RG16.

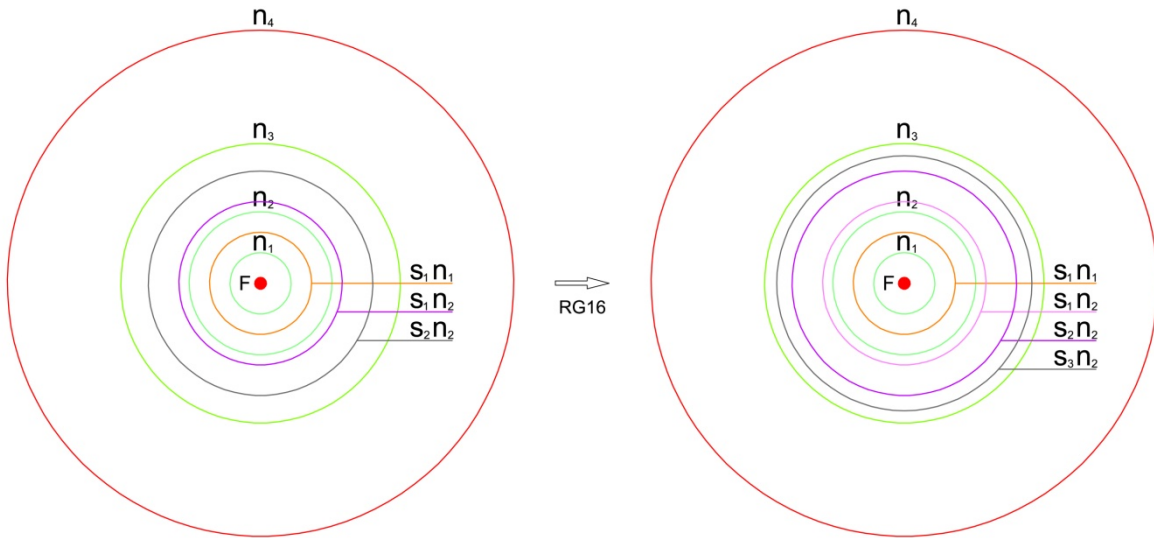


Fig. 35 – Exemplo de aplicação da regra RG16.

Com centro em F, o cálculo da ordem de grandeza de S_3n_2 foi feita do seguinte modo:

$$rS_3n_2 = 1/2(rS_2n_2 - rS_1n_2) + rS_2n_2$$

_ RG17 – Definição de um subnível de expansão num intervalo de expansão $[n_i, n_{i+1}]$, onde o subnível de expansão de referência está situado, em relação a n_i , a uma distância inferior a metade do $rn_{i+1} - rn_i$.

Esta regra difere da regra RG16, na localização do subnível de expansão $S_{j+1}n_i$ no intervalo de expansão $[n_i, n_{i+1}]$. Se o perímetro do subnível de expansão $S_{j+1}n_i$, com referência no nível de expansão n_i , encontra-se a menos de metade da distância que une o perímetro dos níveis de expansão n_i e n_{i+1} , mediante uma linha de raio, a localização do novo subnível de expansão ($S_{j+2}n_i$) deve ter em conta as seguintes condicionantes: primeiro, a ordem de grandeza do subintervalo de expansão $[S_{j+2}n_i, n_{i+1}]$ tem que ser maior ou igual à metade da ordem de grandeza do subintervalo de expansão $[S_{j+1}n_i, S_{j+2}n_i]$. Segundo, a ordem de grandeza do novo subnível de expansão ($S_{j+2}n_i$) será definida mediante uma relação proporcional “y” (1, 4/3, 3/2, 2, 5/2, 3 e 4) da ordem de grandeza do subintervalo de expansão $[S_jn_i, S_{j+1}n_i]$. Sendo a ordem de grandeza referencial para a localização de novo subnível de expansão ($S_{j+2}n_i$), a dimensão medida sobre uma linha de raio, entre o perímetro dos subníveis de expansão que o antecedem (S_jn_i e $S_{j+1}n_i$), a localização deste face ao centro geométrico da composição será definida do seguinte modo: $rS_{j+2}n_i = y (rS_{j+1}n_i - rS_jn_i) + rS_{j+1}n_i$.

Para evitar que a regra volte a identificar a mesma descrição geométrica definida no lado A da regra e assim continuar a gerar repetidamente outros subníveis com a mesma ou diferentes ordens de grandeza a partir dos mesmos referenciais, a cor dos subníveis de expansão S_jn_i e $S_{j+1}n_i$ mudam, passando o primeiro de rosa escuro para rosa claro e o segundo de preto para rosa escuro (fig. 36 e 37).

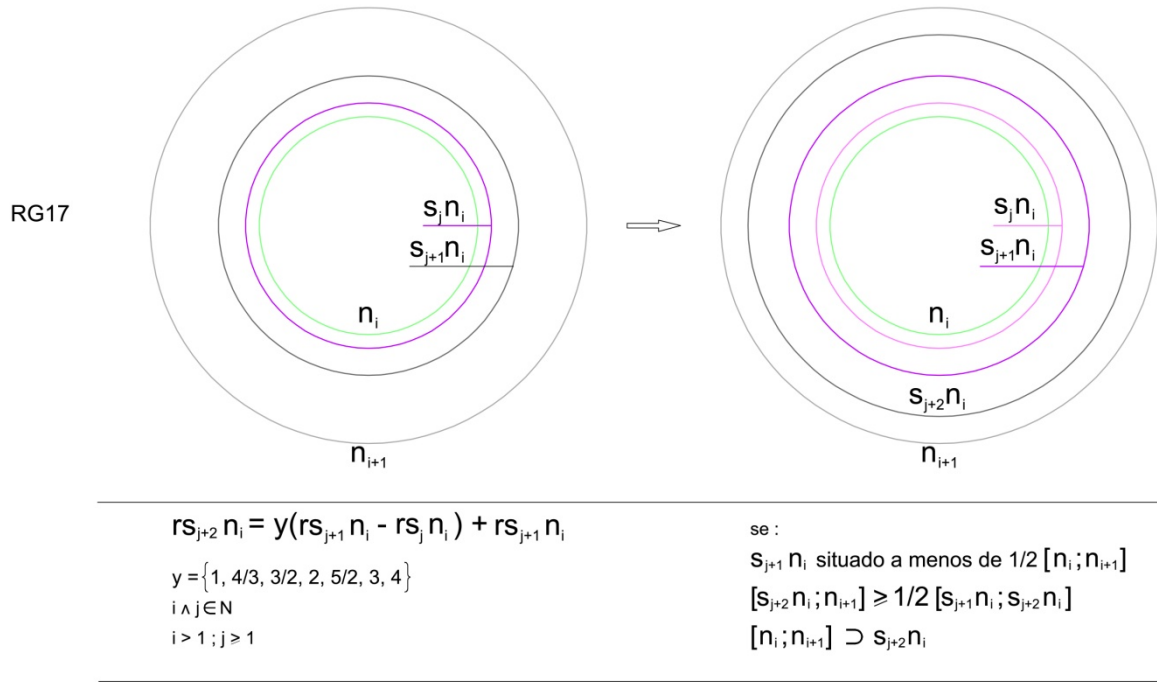


Fig. 36 – Descrição geométrica e algébrica da regra RG17.

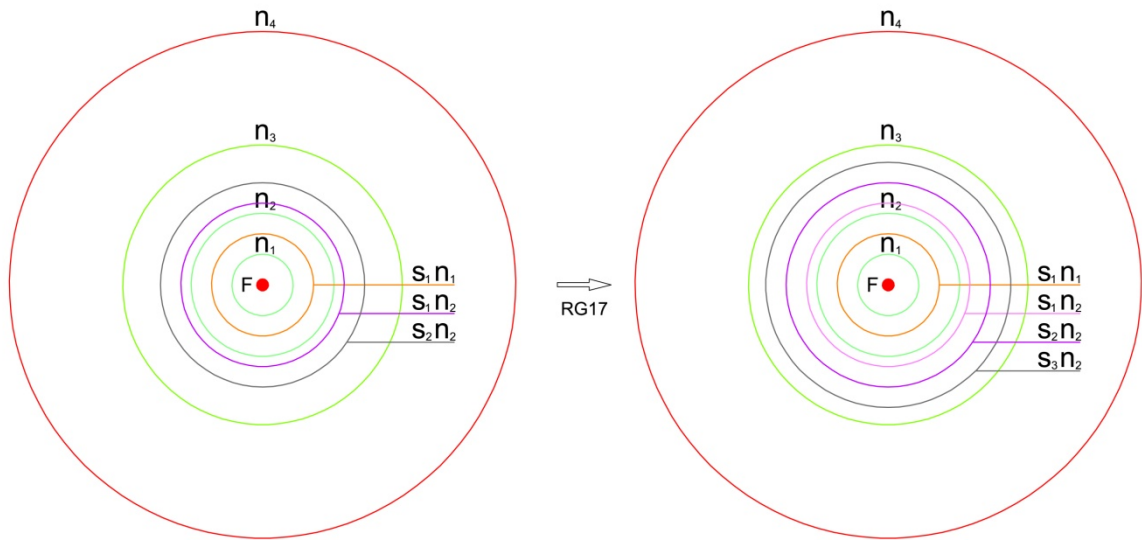


Fig. 37 – Exemplo de aplicação da regra RG17.

Com centro em F, o cálculo da ordem de grandeza de $s_3 n_2$ foi feita do seguinte modo:

$$rs_3 n_2 = 1/1(rs_2 n_2 - rs_1 n_2) + rs_2 n_2$$

– RG18 – Definição do último subnível de expansão num intervalo de expansão $[n_i, n_{i+1}]$, onde o subnível de expansão de referência está situado, em relação a n_i , a uma distância superior a metade do $n_{i+1} - n_i$.

A geração do último subnível de expansão ($s_{j+2} n_i$) dentro de um intervalo de expansão $[n_i, n_{i+1}]$, tendo como referência os dois subníveis de expansão que o antecedem ($s_j n_i$ e $s_{j+1} n_i$), tal como

na regra RG16 e RG17, está dependente da localização do subnível de expansão que o antecede ($S_{j+1}n_i$) no intervalo de expansão $[n_i, n_{i+1}]$. Se o perímetro do subnível de expansão $S_{j+1}n_i$, com referência no nível de expansão n_i , encontra-se a mais de metade da distância que une o perímetro dos níveis de expansão n_i e n_{i+1} , mediante uma linha de raio, a localização do novo subnível de expansão ($S_{j+2}n_i$) deve ter em conta as seguintes condicionantes: primeiro, a ordem de grandeza do subintervalo de expansão $[S_{j+2}n_i, n_{i+1}]$ tem que ser menor ou igual à ordem de grandeza do subintervalo de expansão $[S_{j+1}n_i, S_{j+2}n_i]$. Segundo, a ordem de grandeza do subintervalo de expansão $[S_{j+2}n_i, n_{i+1}]$ a dividir pela ordem de grandeza do subintervalo de expansão $[S_{j+2}n_i, S_{j+1}n_i]$ deve ficar compreendido entre 0.5 e 1, inclusivé. Terceiro, a ordem de grandeza do novo subnível de expansão ($S_{j+2}n_i$) será definida mediante uma relação proporcional “y” (1/2, 2/3, 3/4, e 1/1) da ordem de grandeza do subintervalo de expansão $[S_jn_i, S_{j+1}n_i]$. Sendo a ordem de grandeza referencial para a localização de novo subnível de expansão ($S_{j+2}n_i$), a dimensão medida sobre uma linha de raio, entre o perímetro dos subníveis de expansão que o antecedem (S_jn_i e $S_{j+1}n_i$), a localização deste face ao centro geométrico da composição será definida do seguinte modo: $rs_{j+2}n_i = y(rs_{j+1}n_i - rs_jn_i) + rs_{j+1}n_i$.

Para evitar que o lado A da regra localize a mesma descrição geométrica anterior à primeira aplicação da regra, a cor do perímetro dos subníveis de expansão S_jn_i e $S_{j+1}n_i$ muda, passando respetivamente, de rosa escuro e preto, para rosa claro.

A consequência da não aplicação desta alteração seria uma contínua geração de outros subníveis de expansão de igual designação, com a mesma ou diferentes ordens de grandeza (fig. 38 e 39).

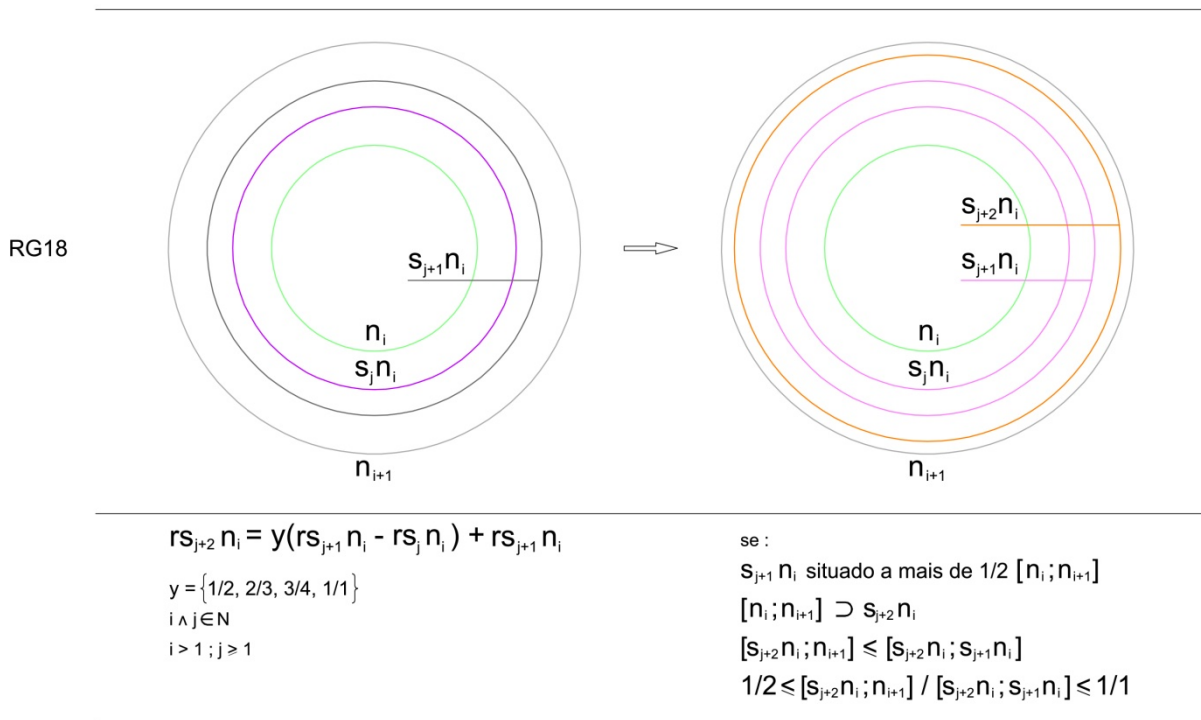


Fig. 38 – Descrição geométrica e algébrica da regra RG18.

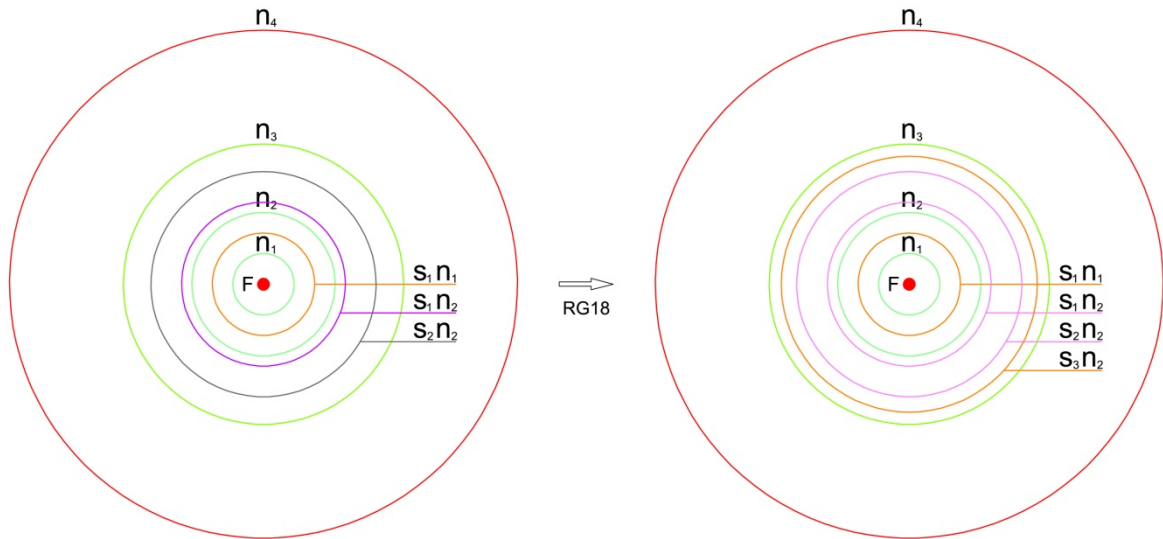


Fig. 39 – Exemplo de aplicação da regra RG18.

Com centro em F, o cálculo da ordem de grandeza de S_3n_2 foi feita do seguinte modo:

$$rS_3n_2 = 1/2(rS_2n_2 - rS_1n_2) + rS_2n_2$$

_ *RG19 – Definição do último subnível de expansão num intervalo de expansão $[n_i, n_{i+1}]$, onde o subnível de expansão de referência está situado, em relação a n_i , a uma distância inferior a metade do $rn_{i+1} - rn_i$.*

Esta regra difere da regra RG18, na localização do subnível de expansão $S_{j+1}n_i$ no intervalo de expansão $[n_i, n_{i+1}]$. Se o perímetro do subnível de expansão $S_{j+1}n_i$, com referência no nível de expansão n_i , encontra-se a menos de metade da distância que une o perímetro dos níveis de expansão n_i e n_{i+1} , mediante uma linha de raio, a localização do novo subnível de expansão ($S_{j+2}n_i$) deve ter em conta as seguintes condicionantes: primeiro, a ordem de grandeza do subintervalo de expansão $[S_{j+2}n_i, n_{i+1}]$ tem que ser menor que a ordem de grandeza do subintervalo de expansão $[S_{j+1}n_i, S_{j+2}n_i]$. Segundo, a ordem de grandeza do subintervalo de expansão $[S_{j+2}n_i, n_{i+1}]$ a dividir pela ordem de grandeza do subintervalo de expansão $[S_{j+2}n_i, S_{j+1}n_i]$ deve ficar compreendido entre um valor maior ou igual que 0.5 e menor que 1. Terceiro, a ordem de grandeza do novo subnível de expansão ($S_{j+2}n_i$) será definida mediante uma relação proporcional “y” (1, 4/3, 3/2, 2, 5/2, 3 e 4) da ordem de grandeza do subintervalo de expansão $[S_jn_i, S_{j+1}n_i]$. Sendo a ordem de grandeza referencial para a localização de novo subnível de expansão ($S_{j+2}n_i$), a dimensão medida sobre uma linha de raio, entre o perímetro dos subníveis de expansão que o antecedem (S_jn_i e $S_{j+1}n_i$), a localização deste face ao centro geométrico da composição será definida do seguinte modo: $rS_{j+2}n_i = y (rS_{j+1}n_i - rS_jn_i) + rS_{j+1}n_i$.

Para evitar que a regra volte a identificar a mesma descrição geométrica definida no lado A da regra e assim continuar a gerar repetidamente outros subníveis com a mesma ou diferentes ordens de grandeza a partir dos mesmos referenciais, a cor dos subníveis de expansão S_jn_i e $S_{j+1}n_i$ mudam, passando respetivamente, de rosa escuro e preto para rosa claro (fig. 40 e 41).

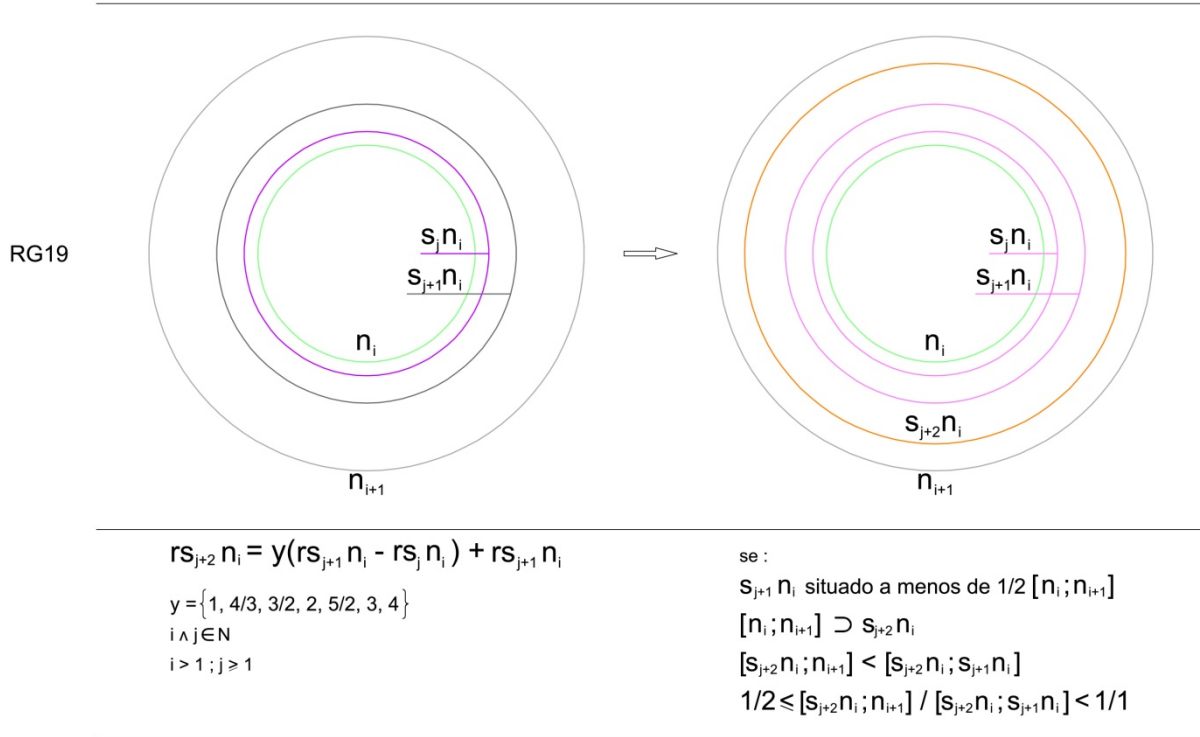


Fig. 40 – Descrição geométrica e algébrica da regra RG19.

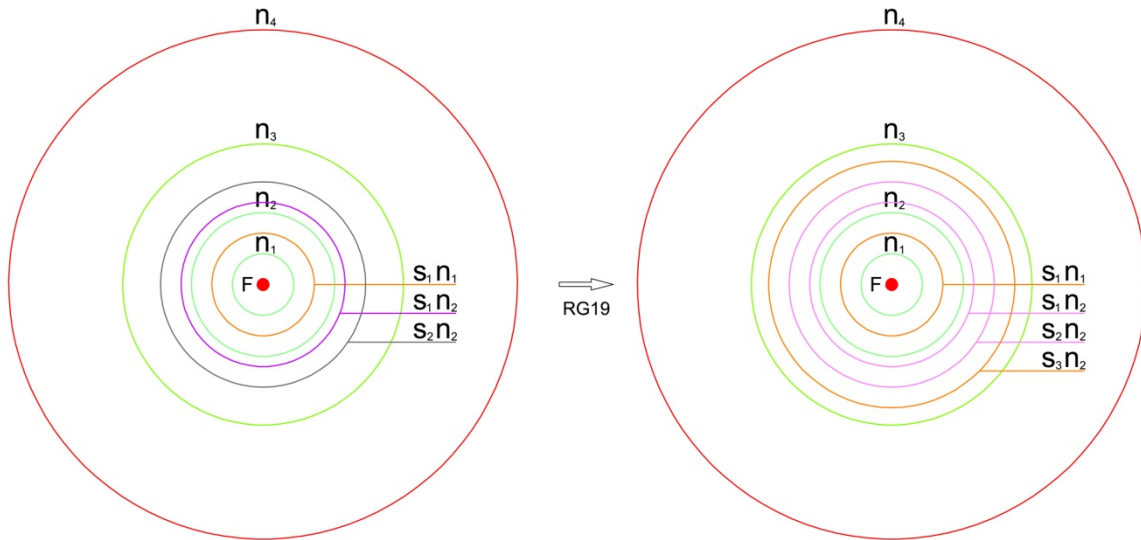


Fig. 41 – Exemplo de aplicação da regra RG19.

Com centro em F, o cálculo da ordem de grandeza de $s_3 n_2$ foi feita do seguinte modo:

$$rs_3 n_2 = 1(rs_2 n_2 - rs_1 n_2) + rs_2 n_2$$

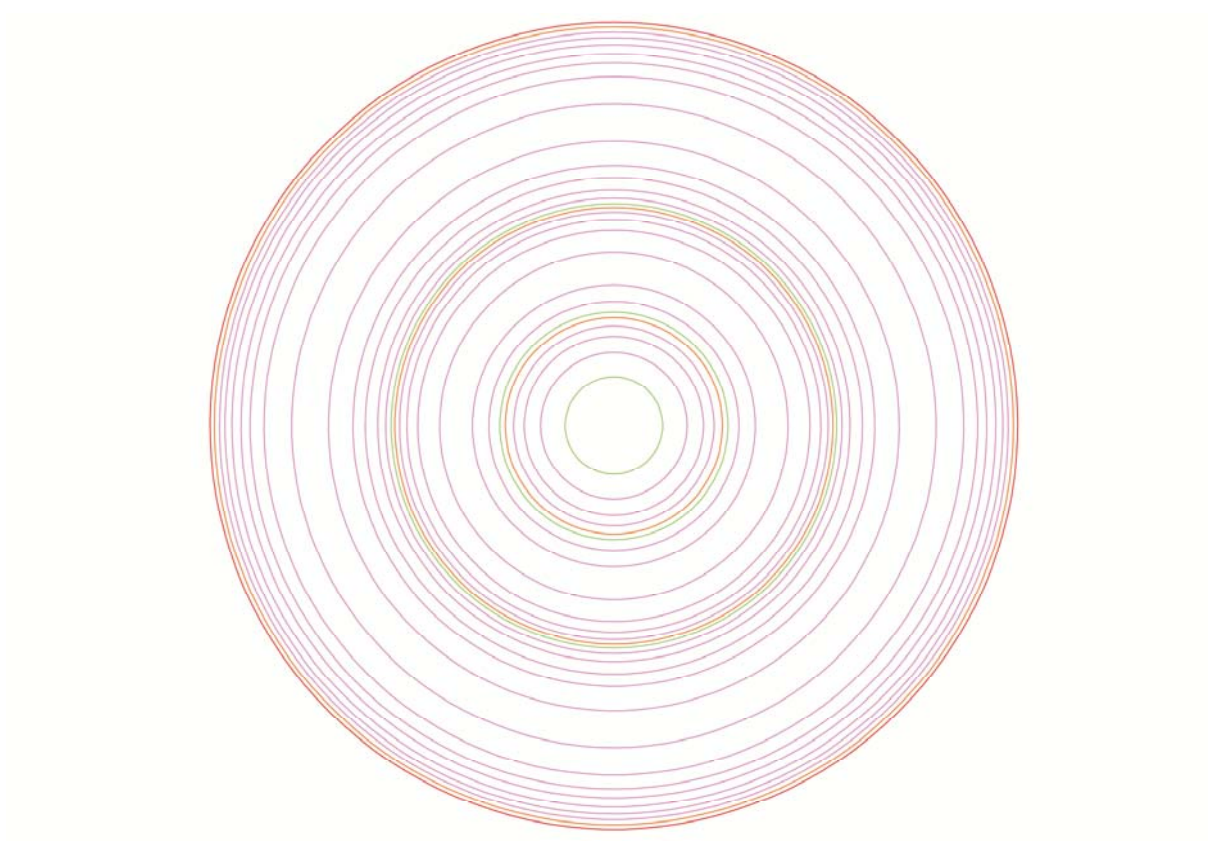


Fig. 42 – Exemplo de uma base estrutural de quatro níveis de expansão com efeito de oscilação.

REGRAS DE CONTROLO FORMAL

2.1 Definição dos ângulos de expansão estrutural

A geração de formas por expansão em onda não incute obrigatoriamente uma composição geométrica circular à forma. As formas podem desenvolver-se numa base estrutural em onda, mas podem apenas expandir-se por uma determinada zona dessa estrutura (fig. 43). Que proporção da estrutura ocupam? Como demonstrado no ponto 3.2.1.2 (Variações proporcionais) as estruturas vivas contêm relações de proporção limitadas a um pequeno conjunto de ordens de grandeza ($1/4$, $1/3$, $2/5$, $1/2$, $2/3$, $3/4$, $1/1$). Considerando que uma estrutura viva gerada mediante uma composição geométrica circular (360°) tem uma relação proporcional de $1/1$, então a cada uma das restantes ordens de grandeza corresponde um determinado ângulo, onde se deve conter a expansão da forma (fig. 44).

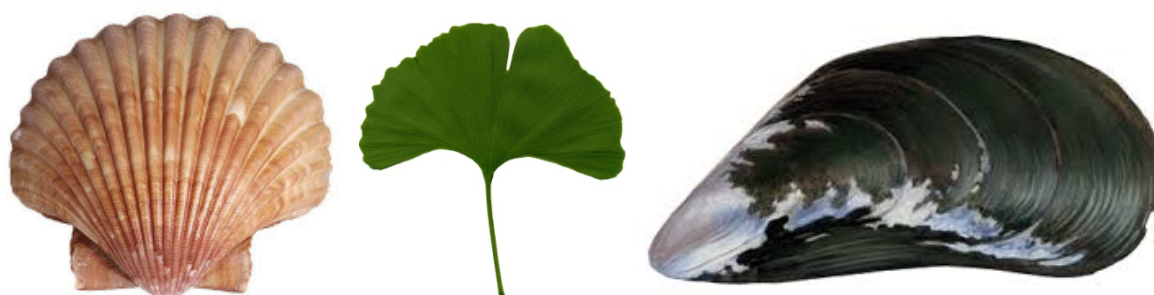


Fig. 43 – Exemplo de estruturas vivas com expansão em onda sem configuração circular.

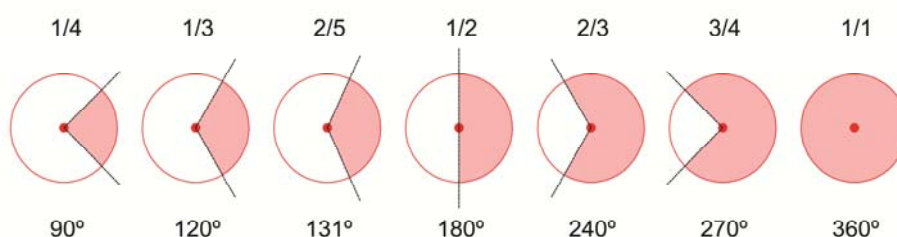


Fig. 44 – Relação entre ordens de grandeza e respetivo ângulo de expansão na base estrutural em onda.

_ RCF 1 – Definição do ângulo de expansão.

Pelo fato de as estruturas vivas terem implícitas no seu processo de desenho, um desenvolvimento estrutural por simetria (ver ponto 3.2.2.2.1), os ângulos correspondentes às ordens de grandeza definidos na fig. 44, serão contabilizados pela metade. Assim, o ângulo de expansão (α) fica representado pelo ângulo existente entre duas semi retas (dl e b) com um ponto de origem comum, o ponto F. Para evitar uma continua repetição da regra na mesma descrição geométrica do lado A da regra, mediante a geração de outros ângulos de expansão sobre a mesma origem, o ponto F muda de cor, passado de verde para azul (fig. 45 e 46).

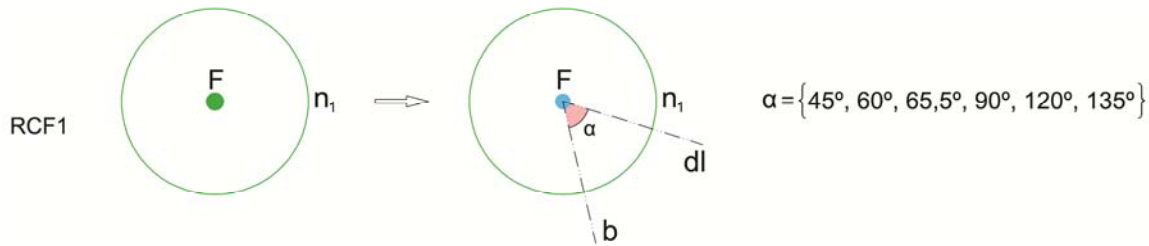
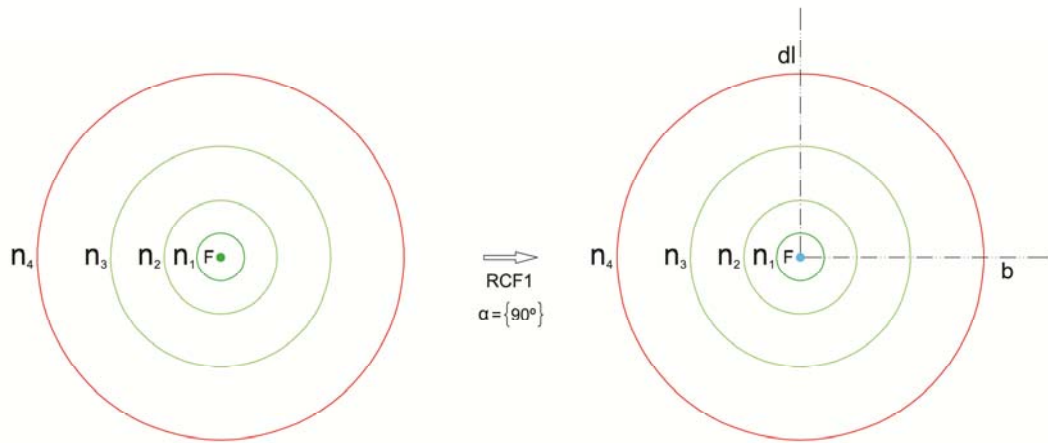


Fig. 45 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF1.

Fig. 46 – Exemplo de aplicação da regra RCF1.
Definição de um ângulo de expansão em que $\alpha = 90^\circ$.

2.2 Definição da grelha de pontos

Para definir perfis de formas, que não em forma circular, sobre a base estrutural, será necessário definir pontos referenciais na mesma. Estes pontos, apenas serão gerados dentro do ângulo de expansão definido na regra RCF1.

_ RCF2 – Colocação do primeiro ponto sobre o referencial dl .

O primeiro ponto a definir sobre a base estrutural situa-se na intersecção da semi reta dl com o perímetro do nível de expansão n_2 ($rn_2 \text{sen} \alpha$; rn_2). Este ponto será referenciado como $D_{2.2}$. Para evitar que a regra continue a definir pontos continuamente para o mesmo local, o troço da semi reta dl definido entre o ponto F e o ponto $D_{2.2}$, sofre uma alteração na escala do tracejado da linha (fig. 47 e 48).

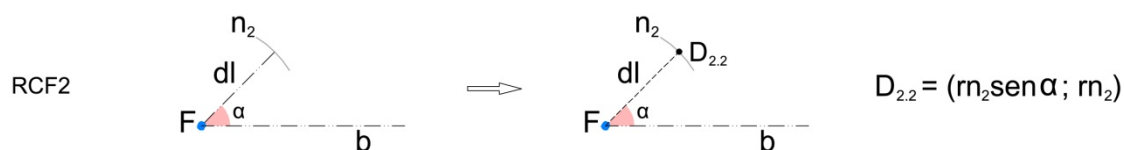


Fig. 47 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF2.

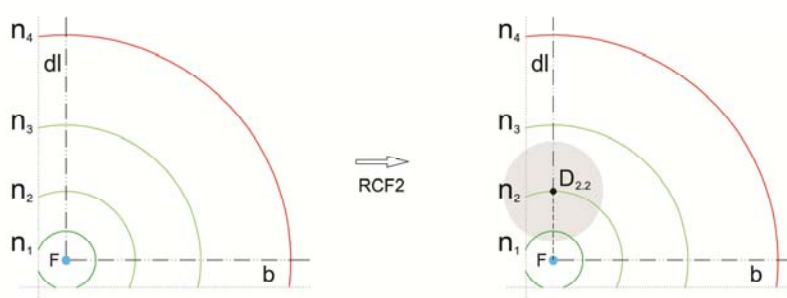


Fig. 48 – Exemplo de aplicação da regra RCF2.
Definição do ponto $D_{2.2}$.

– RCF3 – Colocação de pontos sobre dl com referência ao ponto anterior.

Todos os pontos que venham a ser localizados na semi reta dl a seguir à definição do ponto $D_{2.2}$, vão ter que ser sempre referenciados no ponto anterior. Isto significa, que a regra pretende que os pontos sejam gerados em continuidade e não aleatoriamente. Portanto, o ponto $D_{i,i}$, definido pela intersecção de dl e n_i , apenas poderá gerar um outro ponto na intersecção de dl com o nível de expansão seguinte (n_{i+1}), ficando este referenciado como $D_{i+1,i+1}$. Quando o ponto $D_{i+1,i+1}$ é gerado, o seu ponto referencial ($D_{i,i}$) muda de cor, passando de preto para verde. Esta mudança, tem como objetivo evitar que o ponto $D_{i,i}$, seja de novo referência de geração de um outro ponto. Para além desta mudança, o troço da semi reta dl , definida pelos pontos $D_{i,i}$ e $D_{i+1,i+1}$, muda a escala do tracejado (fig. 49 e 50).

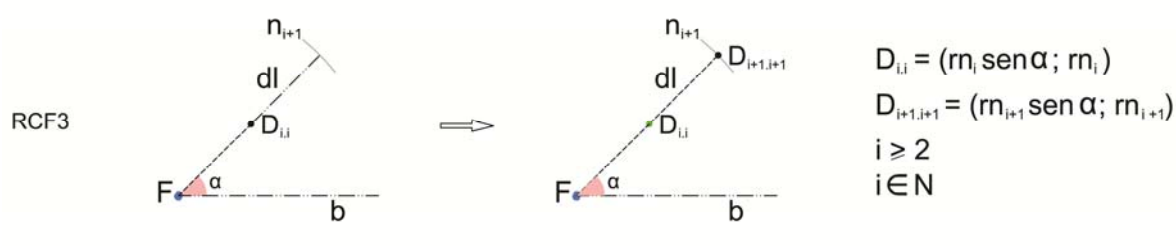


Fig. 49 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF3.

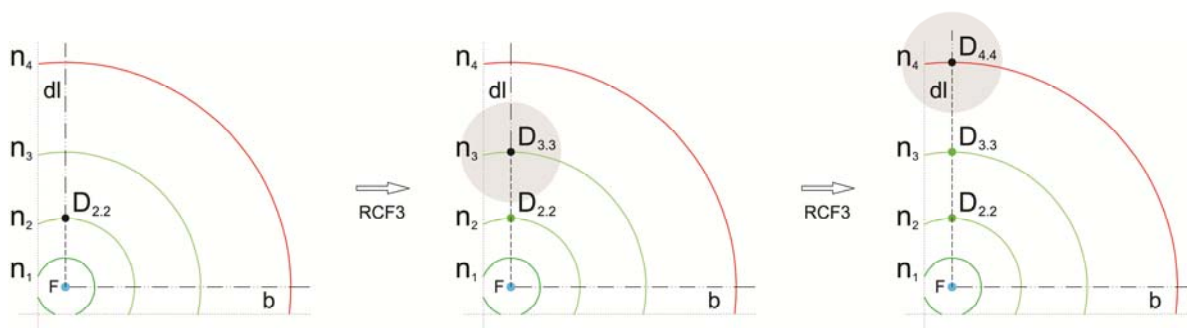


Fig. 50 – Exemplo de aplicação da regra RCF3.
Geração do ponto $D_{3.3}$ tendo como referência o ponto $D_{2.2}$. Definido o ponto $D_{3.3}$, este servirá de referência para a geração do ponto $D_{4.4}$.

– RCF4 – Definição do segmento de reta dl .

Definidos todos os pontos de intersecção entre os níveis de expansão e a semi reta dl , esta última continuaria indefinidamente a sua propagação pelo espaço. Como a semi reta dl não terá mais um papel referencial para lá do último nível de expansão, não faz sentido que exista para lá deste. Portanto, a regra RCF4, terá como objetivo delimitar a semi reta no ponto $D_{i,i}$ referente ao último nível de expansão, transformando-a num segmento de reta definido por dois pontos F e $D_{i,i}$. Durante a aplicação da regra, a cor do ponto $D_{i,i}$ muda de cor, passando de preto para verde, de modo a uniformizar a cor de todos os pontos da malha (fig. 51 e 52).

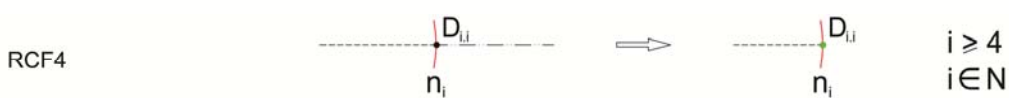


Fig. 51 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF4.

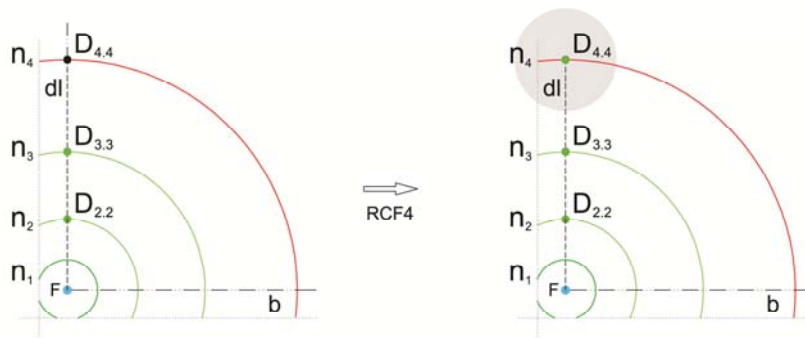


Fig. 52 – Exemplo de aplicação da regra RCF4.
Delimitação do segmento de reta dl entre os pontos F e $D_{4,4}$.

– RCF5 – Definição de pontos nos níveis de expansão tendo como referência um ponto localizado em dl .

Todos os restantes pontos que serão definidos dentro do intervalo de expansão, terão como referência os pontos $D_{i,i}$. Estes pontos serão o resultado da intersecção de uma reta “imaginária” paralela ao segmento de reta b que contém um ponto $D_{i,i}$ e os níveis de expansão. Tal como na regra RCF3, a geração de pontos não se pretende aleatória, mas sim continua. Portanto, os pontos serão gerados sempre com referência ao ponto anterior da reta “imaginária”.

A distância desta reta “imaginária” face ao segmento de reta b , será igual à distância do ponto $D_{i,i}$ a b ($n_i \sin \alpha$) e onde esta distância encontrar o nível de expansão seguinte ao que contém $D_{i,i}$, será definido o ponto $D_{i,i+1}$, onde o valor de i é referente ao nível de expansão de origem de $D_{i,i}$ e o valor de $i+1$, o nível de expansão onde é feita a intersecção com a reta imaginária. Para evitar que os pontos $D_{i,i}$ e $D'_{i,i}$ definam continuamente o mesmo ponto, estipula-se que esta regra só poderá ser aplicada uma única vez, para os mesmos valores de i e $i+1$ (fig. 53, 54 e 55).

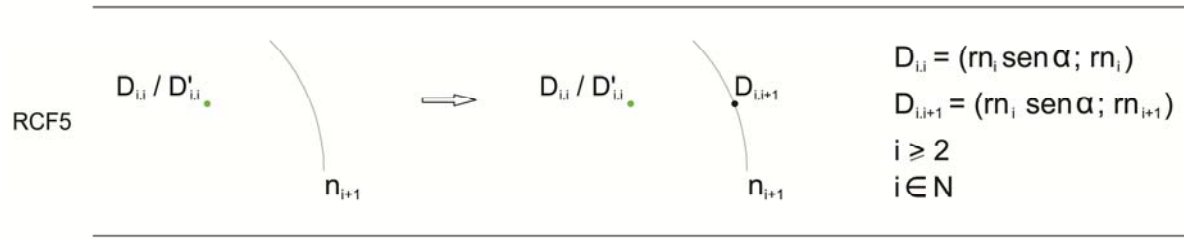


Fig. 53 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF5.

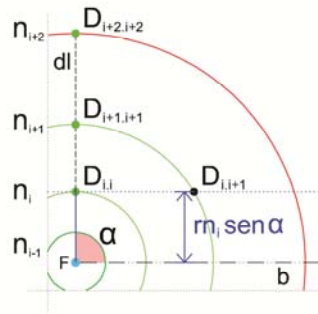
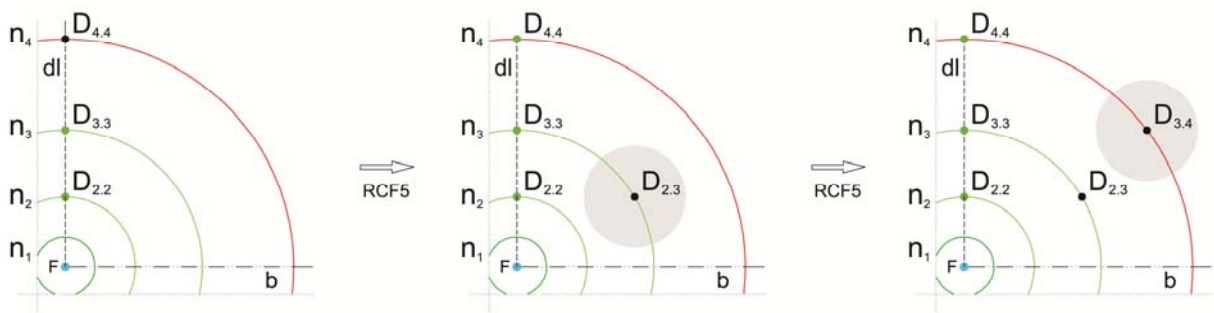
Fig. 54 – Esquema exemplificativo de geração do ponto $D_{i,i+1}$.

Fig. 55 – Exemplo de aplicação da regra RCF5.

Geração de um ponto $D_{i,i+1}$ ($D_{2,3}$) com referência num ponto $D_{i,i}$ ($D_{2,2}$).

Geração de um ponto $D_{i,i+1}$ ($D_{3,4}$) com referência num ponto $D_{i,i}$ ($D_{3,3}$).

– **RCF6** – Definição de pontos nos níveis de expansão tendo com referência um ponto localizado no nível de expansão anterior.

Os pontos $D_{i,j}$, que são pontos definidos da intersecção da distância do ponto $D_{i,i}$ ao segmento de reta b ($m_i \text{ sen } \alpha$) com um nível de expansão superior a n_i , podem continuar a gerar pontos nos níveis de expansão seguintes. A geração do ponto $D_{i,j+1}$ resulta da intersecção da linha “imaginária” paralela a segmento de reta b e que contém o ponto $D_{i,j}$ ($m_i \text{ sen } \alpha$) com o nível de expansão seguinte a n_j , ou seja, n_{j+1} . Assim sendo, no ponto $D_{i,j+1}$, o valor de i , significa que é um ponto definido com referência no ponto $D_{i,i}$ e o valor de $j+1$, corresponde ao nível de expansão onde é feita a intersecção com a reta “imaginária” ($m_i \text{ sen } \alpha$). Para evitar que o ponto $D_{i,j}$ gere continuamente o mesmo ponto fase à descrição geométrica do lado A da regra, o ponto muda de cor, passando de preto para verde. (fig. 56, 57 e 58).

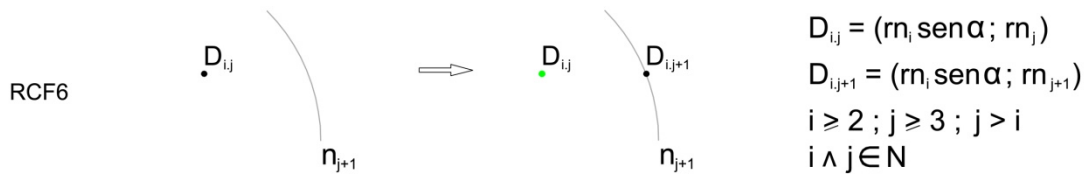


Fig. 56 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF6.

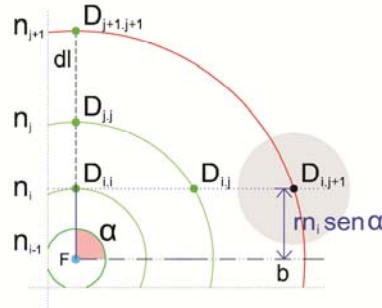
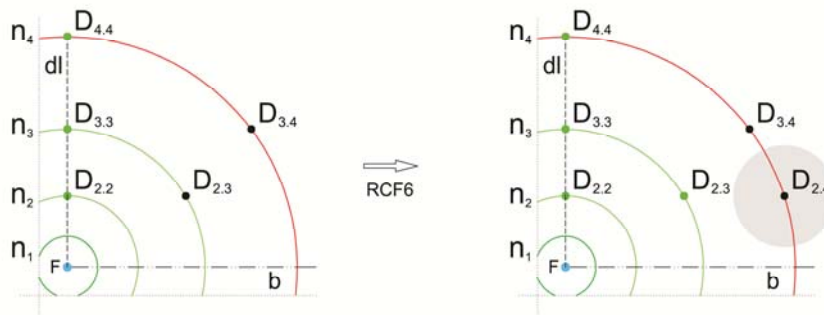
Fig. 57 – Esquema exemplificativo de geração do ponto $D_{i,j+1}$.

Fig. 58 – Exemplo de aplicação da regra RCF6.

Geração de um ponto $D_{i,j+1}$ ($D_{2,4}$) a partir de um ponto $D_{i,j}$ ($D_{2,3}$).

_ *RCF7 – Definição de pontos nos níveis de expansão tendo com referência um ponto localizado no mesmo nível de expansão.*

Sempre que o ângulo de expansão entre os segmentos de reta dl e b for de 120° ou 135° , a reta “imaginária” paralela ao segmento de reta b e contendo $D_{i,i}$ ($r n_i \text{ sen } \alpha$), volta a intersestar o nível de expansão n_i . Desta intersecção surge o ponto $D'_{i,i}$. Para evitar que o ponto $D_{i,i}$ continue progressivamente a definir o mesmo ponto $D'_{i,i}$, estipula-se que a regra apenas seja usada uma única vez para os mesmos valores de i (fig. 59, 60 e 61).

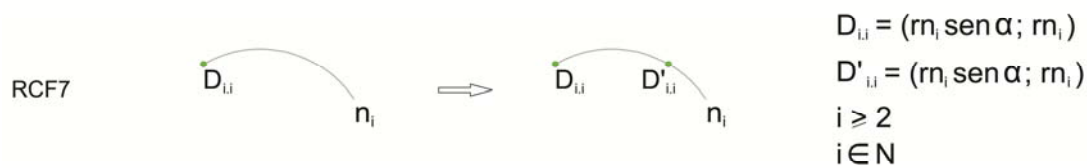
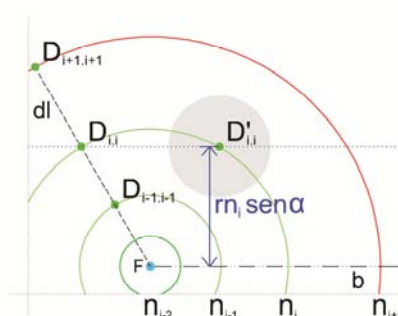
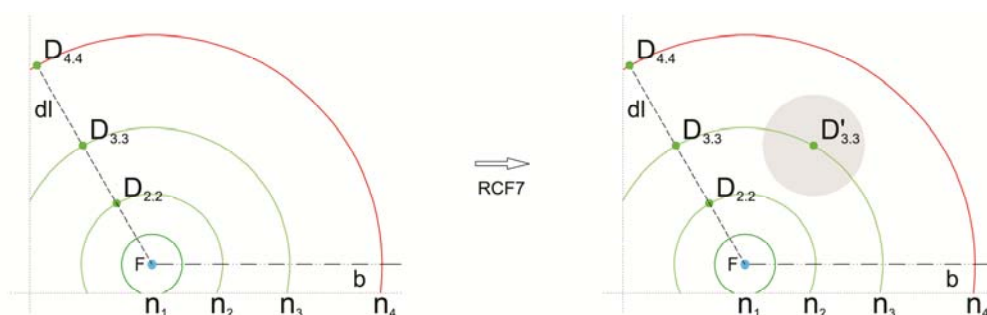


Fig. 59 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF7.

Fig. 60 – Esquema exemplificativo de geração do ponto $D'_{i,i}$.Fig. 61 – Exemplo de aplicação da regra RCF7.
Geração do ponto $D'_{3,3}$ com referência no ponto $D_{3,3}$.

– RCF8 – Colocação do primeiro ponto sobre o referencial b .

A semi reta b , pertencente ao ângulo de expansão (ver RCF1), quando intersesta os níveis de expansão, vai também vai definir pontos. O primeiro ponto a marcar sobre esta semi reta, será sempre o ponto resultante da sua intersecção com o nível de expansão n_2 ($r_2 \cos 0^\circ$; r_2). Este ponto será referenciado como B_2 . Para evitar que a regra continue a definir pontos continuamente para o mesmo local, o troço da semi reta b definido entre o ponto F e o ponto B_2 , sofre uma alteração na escala do tracejado da linha (fig. 62 e 63).

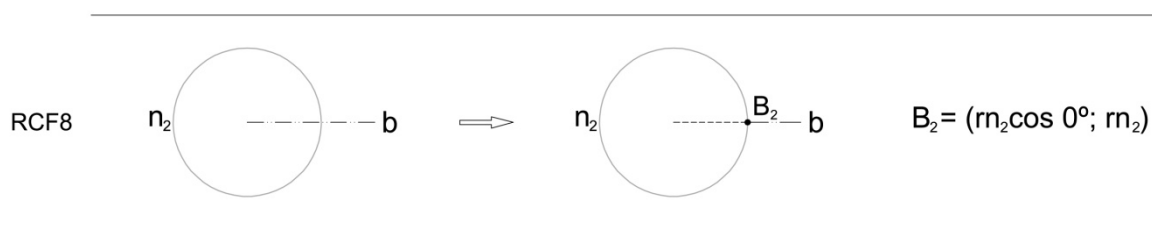


Fig. 62 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF8.

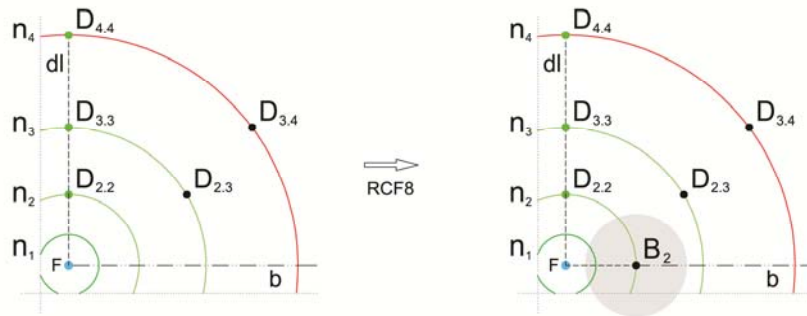


Fig. 63 – Exemplo de aplicação da regra RCF8.
Geração do ponto B_2 .

_ RCF9 – Colocação de pontos sobre b com referência ao ponto anterior.

Definido o ponto B_2 , todos os pontos que venham a ser definidos sobre a semi reta, têm que ser sempre referenciados em relação ao ponto anterior. Ou seja, a regra pretende que os pontos sejam gerados em continuidade e não de um modo aleatório. Assim sendo, o ponto B_i , gerado pela intersecção de b e n_i , apenas poderá gerar um outro ponto sobre a semi reta b , quando esta intersecta o nível de expansão seguinte (n_{i+1}), ficando o ponto referenciado como B_{i+1} . Quando o ponto B_{i+1} é gerado, o seu ponto referencial (B_i) muda de cor, passando de preto para verde. Esta mudança tem como objetivo evitar que o ponto B_i , seja de novo referência de geração de um outro ponto. Para além desta mudança, o troço da semi reta b , definida pelos pontos B_i e B_{i+1} , muda a escala do tracejado (fig. 64 e 65).

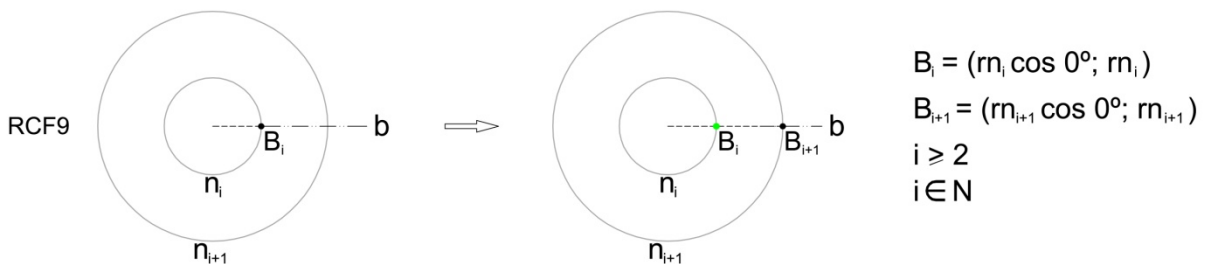


Fig. 64 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF9.

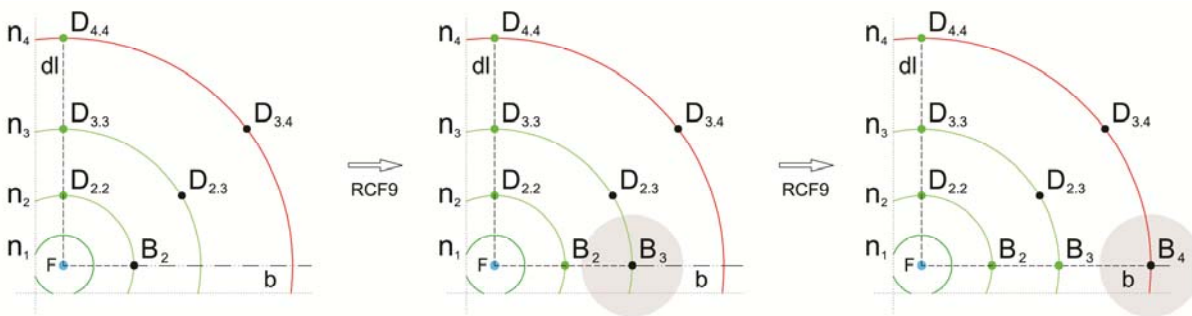


Fig. 65 – Exemplo de aplicação da regra RCF9.
Geração do ponto B_3 com referência no ponto B_2 . Definido o ponto B_3 . Este será usado como referência na geração do ponto B_4 .

– RCF10 – Definição do segmento de reta b .

Definidos todos os pontos de intersecção entre os níveis de expansão e a semi reta b , a continuidade da semi reta, para lá do último nível de expansão, não desempenhará qualquer tipo de função, portanto, não faz sentido que exista para lá deste. Sendo assim, o objetivo desta regra passa por delimitar a semi reta no ponto B_i referente ao último nível de expansão, transformando-a num segmento de reta definido por dois pontos – F e B_i . Durante a aplicação da regra a cor do ponto B_i muda de cor, passando de preto para verde, com o intuito de uniformizar a cor de todos os pontos da malha (fig. 66 e 67).

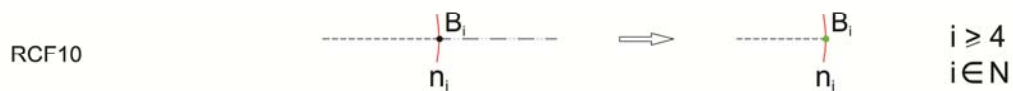


Fig. 66 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF10.

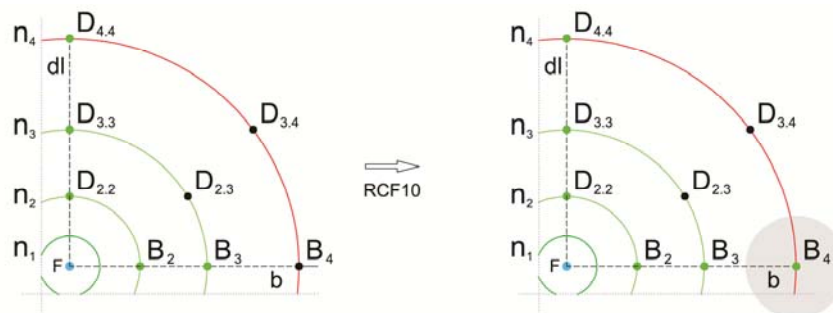


Fig. 67 – Exemplo de aplicação da regra RCF10.
Delimitação do segmento de reta b entre o ponto F e um ponto B_i (B_4).

– RCF11 – Definição dos pontos V .

Os pontos de nomenclatura V , apenas são gerados na base estrutural quando o ângulo de expansão entre os segmentos de reta dl e b (ver RCF1) é maior ou igual a 90° . Estes pontos serão localizados no último nível de expansão e o seu posicionamento está diretamente relacionado com o posicionamento dos pontos B_i , situados sobre o segmento de reta b . No caso concreto de um ângulo de expansão de 90° , a geração do ponto V_i resulta da intersecção de uma reta “imaginária” paralela ao segmento de reta dl e que contém o ponto B_i ($rn_i \cos 0^\circ$), com o último nível de expansão n_j . Portanto, o ponto V_i será definido pela distância do ponto B_i a F ($rn_i \cos 0^\circ$) e o raio de n_j . Para evitar que o ponto B_i , defina continuamente pontos V_i por sobreposição, a aplicação da regra altera a cor do ponto B_i de verde para preto (fig. 68, 69 e 70).

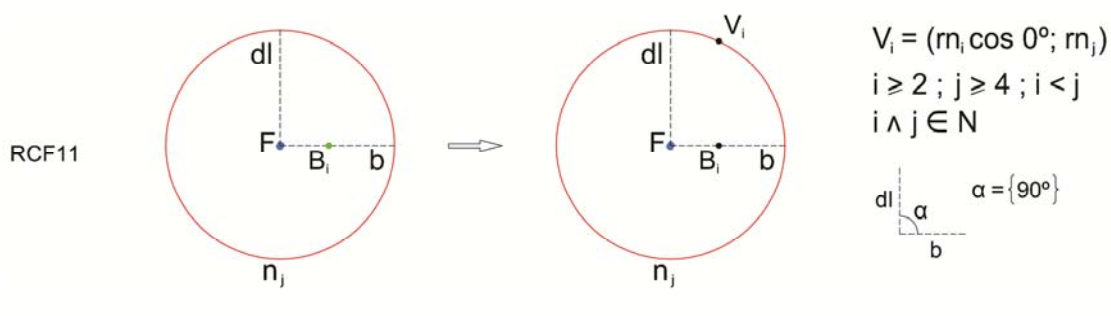


Fig. 68 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF11.

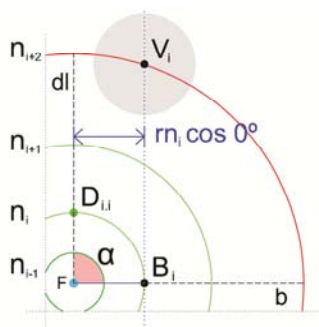
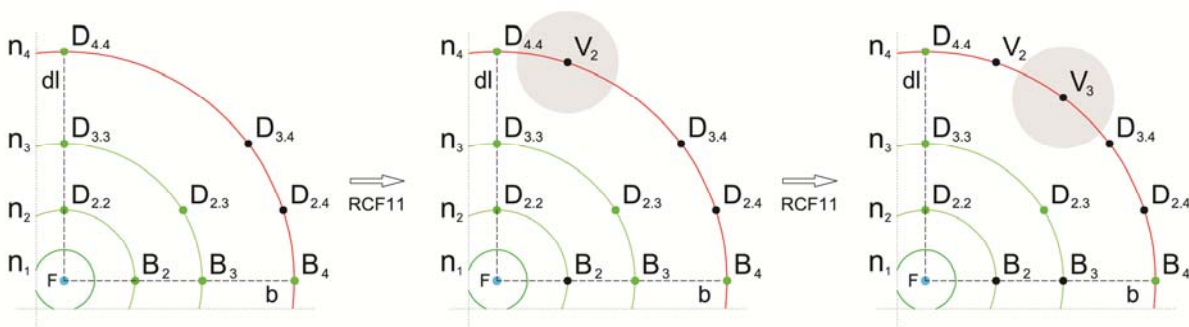
Fig. 69 – Esquema exemplificativo de geração do ponto V_i .

Fig. 70 – Exemplo de aplicação da regra RCF11.

Geração de um ponto V_i (V_2) com referência num ponto B_i (B_2).

Geração de um ponto V_i (V_3) com referência num ponto B_i (B_3).

_ RCF12 – Definição dos pontos V .

Quando os ângulos de expansão são de 120° ou 135° , a geração de pontos V é distinta da realizada na regra RCF11, para ângulos de expansão de 90° . Com referência num ponto B_i sobre o segmento de reta b , são definidos dois pontos ($-V_i$ e V_i) no último nível de expansão. Tal como na regra RCF11, V_i resulta da intersecção de uma linha “imaginária” perpendicular ao segmento de reta b e contendo o ponto B_i , com o nível de expansão η_j . Portanto, o ponto V_i será definido pela distância do ponto B_i a F ($r_i \cos 0^\circ$) e o raio de η_j . Simultaneamente a este, será definido um ponto $-V_i$. Imaginado um eixo de simetria perpendicular ao segmento de reta b e passando pelo ponto F , o ponto $-V_i$ apresenta-se como uma reflexão do ponto V_i . Deste modo, o ponto $-V_i$ ficaria definido por uma distância equivalente da do ponto B_i ao ponto F ($r_i \cos 180^\circ$) e o raio de η_j . Para evitar que o ponto B_i , defina continuamente pontos V_i e $-V_i$ por sobreposição, a aplicação da regra altera a cor do ponto B_i de verde para preto (fig. 71, 72 e 73).

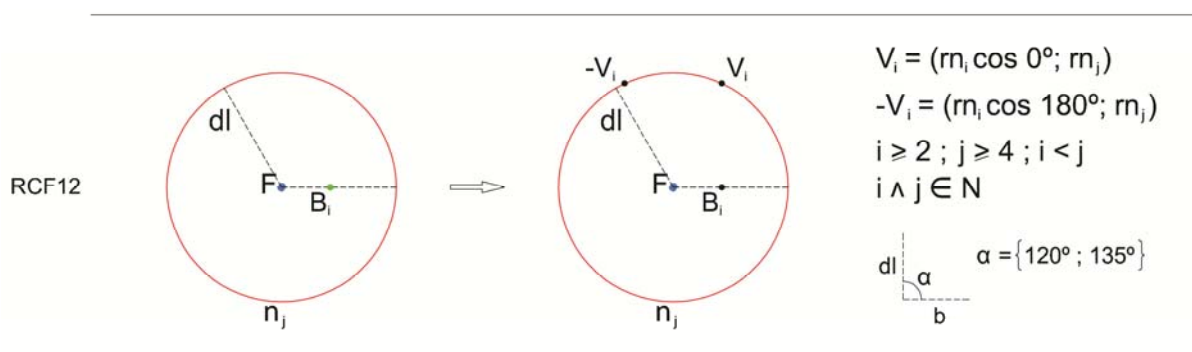


Fig. 71 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF12.

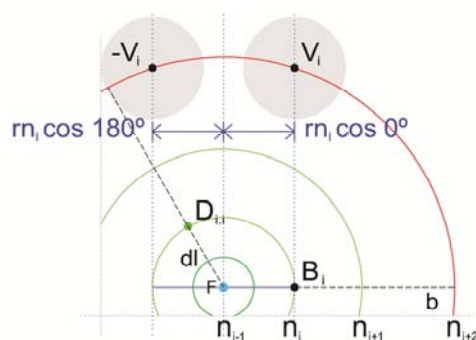
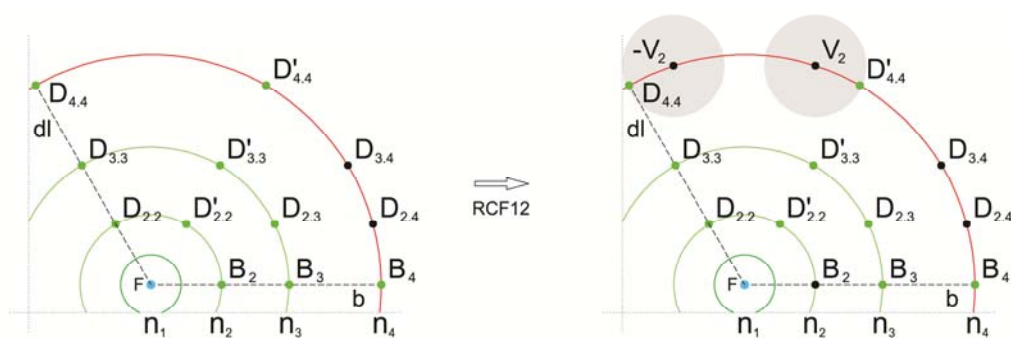
Fig. 72 – Esquema exemplificativo de geração dos pontos $-V_i$ e V_i .

Fig. 73 – Exemplo de aplicação da regra RCF12.

Geração de um ponto $-V_i$ ($-V_2$) e de um ponto V_i (V_2) com referência num ponto B_i (B_2).

– RCF13 – Remoção dos pontos V situados fora do quadrante que delimita a malha de pontos.

Quando o ângulo de expansão definido entre os segmentos de reta b e dl (ver RCF1) for de 120° , alguns dos pontos $-V_i$, não ficarão definidos dentro da sua área, devendo portanto ser removidos (fig. 74 e 75).

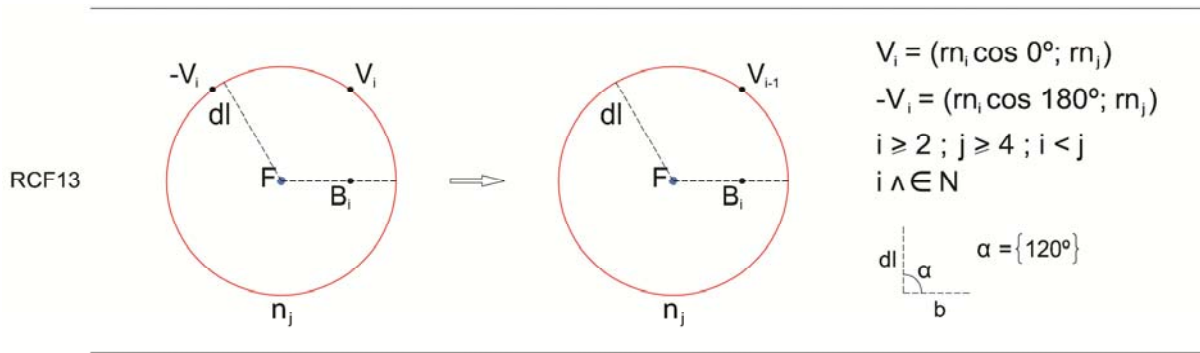


Fig. 74 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF13.

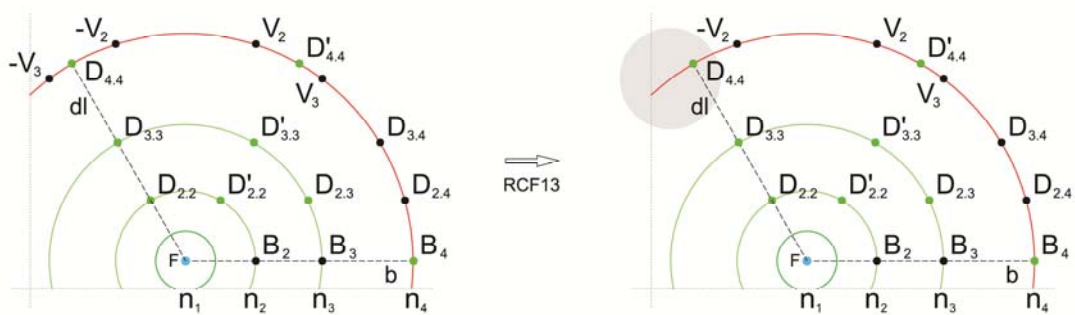


Fig. 75 – Exemplo de aplicação da regra RCF13.
Exclusão do ponto $-V_3$ da estrutura base.

_ RCF14 – União do ponto F com os pontos situados no último nível de expansão _ linhas de foco.

As linhas de foco, são segmentos de reta definidos com linha pontuada, que irão unir todos os pontos localizados no último nível de expansão ao ponto F . A geração destas linhas vai ser fundamental na definição de arcos compostos (RCF57 e RCF58). Quando aplicada a regra, a cor dos pontos situados no último nível de expansão muda, passando de preto para verde. Esta mudança tem como objetivo, evitar que um mesmo ponto seja associado a diversas linhas de foco (fig. 76 e 77).

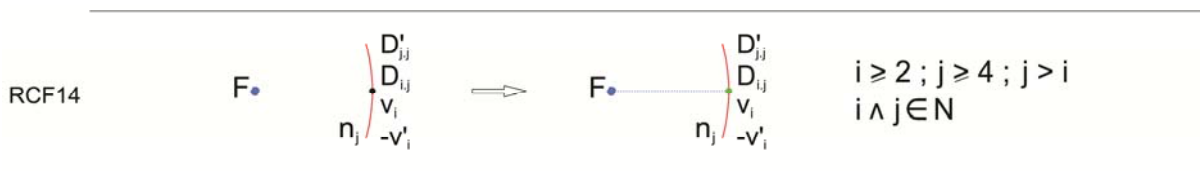


Fig. 76 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF14.

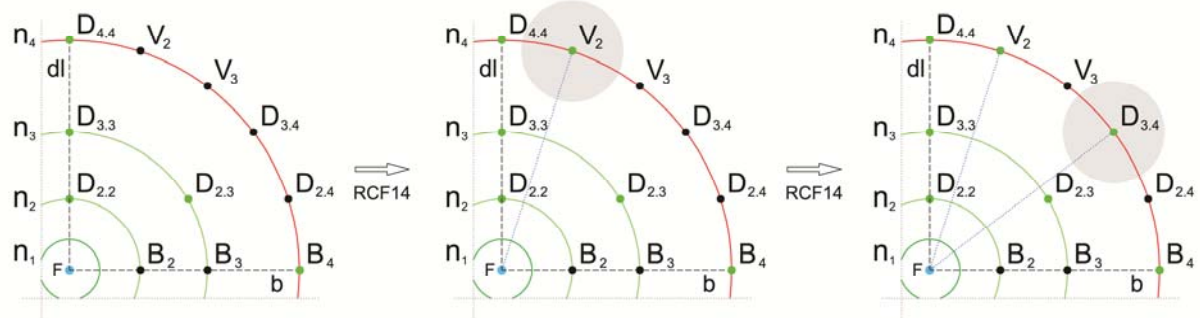


Fig. 77 – Exemplo de aplicação da regra RCF14.
União do ponto F ao ponto V₂ e ao ponto D_{3.4}.

_ RCF15 – Mudança de cor nos pontos B_i.

Com o intuito de uniformizar a cor da malha de pontos gerada, os pontos B_i mudam de cor, passando de preto para verde (fig. 78 e 79).

$$\text{RCF15} \quad \bullet B_i \quad \longrightarrow \quad \bullet B_i \quad \begin{matrix} i \geq 2 \\ i \in \mathbb{N} \end{matrix}$$

Fig. 78 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF15.

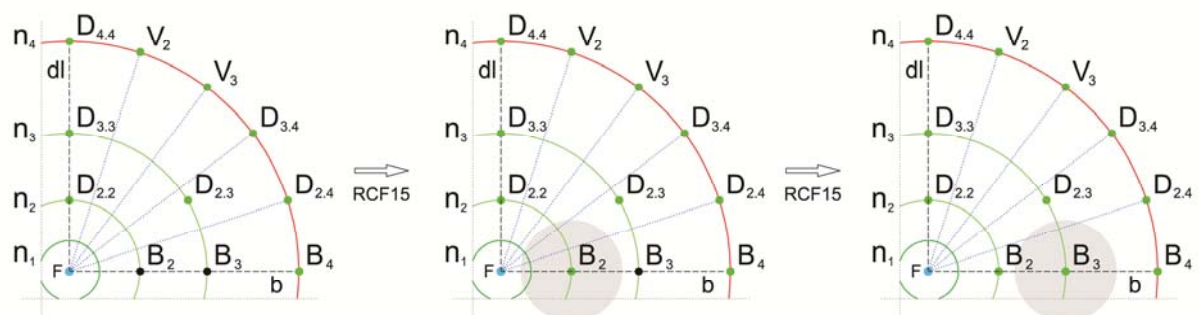


Fig. 79 – Exemplo de aplicação da regra RCF15.
Mudança de cor do ponto B₂ e B₃.

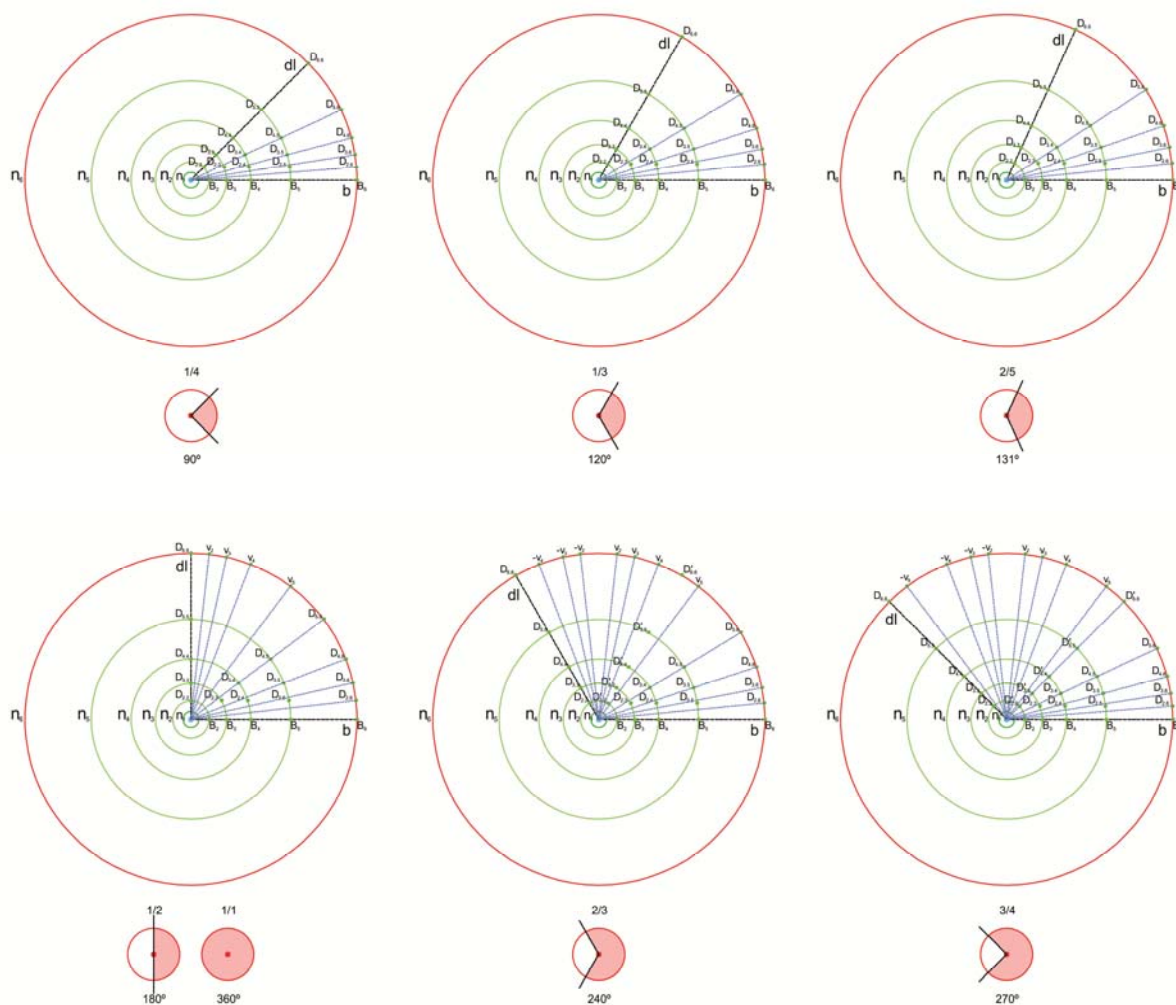


Fig. 80 – Os 6 tipos de grelhas possíveis de gerar com as regras de controlo formal

2.3 Zona de interdição formal

A estrutura base, contém uma zona, variável consoante os ângulos de expansão adotados, em que as formas geradas não devem estar totalmente definidas dentro do seu limite. A razão é simples. Se as formas apenas se desenvolverem dentro dos limites dessa área, elas não responderão positivamente às relações proporcionais definidas como harmoniosas (ver ponto 3.2.1.2 – Variações proporcionais). Assim sendo, a criação de uma mancha de cor referente a uma “zona não harmoniosa” na estrutura base, terá um papel informativo ao querer alertar que a composição geométrica, também terá que existir fora desse limite, se quiser apresentar relações proporcionais dentro do intervalo de valores estipulado como harmoniosos.

– RCF 16 – Definição da zona de geração formal fora dos padrões harmoniosos para os ângulos de expansão 45°, 60°, 65,5° e 90°.

Nas bases estruturais definidas com ângulos de expansão de 45°, 60°, 65,5° e 90°, a altura da zona de interdição, medida na perpendicular ao segmento de reta b é igual a $1/8$ do n_i , sendo n_i o último nível de expansão da base estrutural (fig. 81, 82 e 83).

RCF16

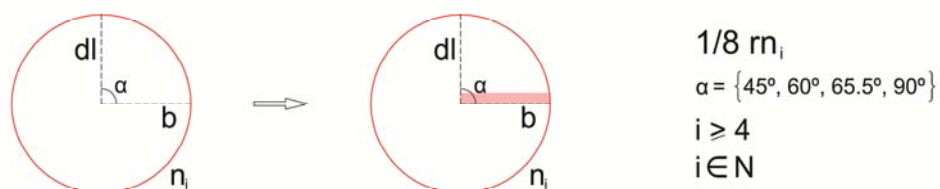


Fig. 81 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF16.

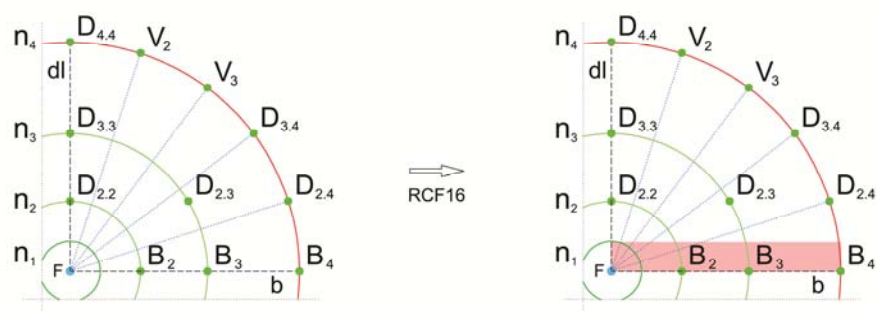


Fig. 82 – Exemplo de aplicação da regra RCF16.

Definição da zona de interdição cuja altura medida na perpendicular ao segmento de reta b é igual $1/8 n_4$.

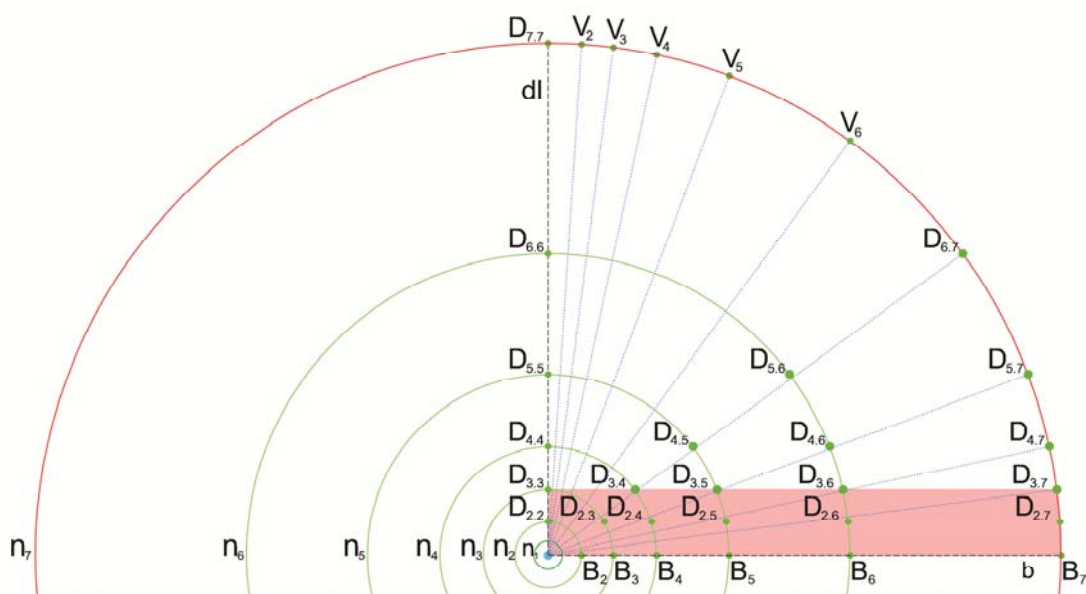


Fig. 83 – Exemplo de uma base estrutural com 7 níveis de expansão, com ângulo de expansão igual a 90° . A zona de interdição obriga a que o perfil formal, que se irá começar a definir a partir da regra RCF19, inclua pontos acima dos definidos com referencial em n_2 .

– RCF 17 – Definição da zona de geração formal fora dos padrões harmoniosos para os ângulos de expansão 120° e 135° .

Nas bases estruturais definidas com ângulos de expansão de 120° e 135° , a altura da zona de interdição, medida na perpendicular ao segmento de reta b é igual a $1/8$ do $n_i + ra$ sendo n_i o

último nível de expansão da base estrutural e ra a distância projetada no plano do segmento de reta b , entre o ponto resultante da intersecção do segmento de reta dl com o último nível de expansão n_i e o ponto F (fig. 84, 85 e 86).

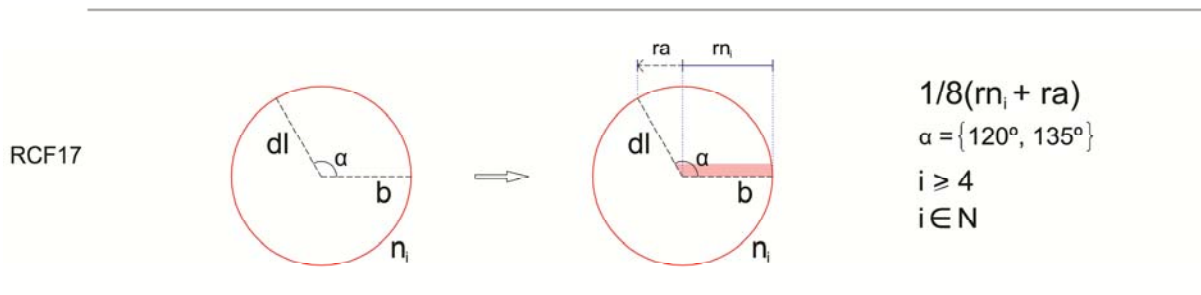


Fig. 84 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF17.

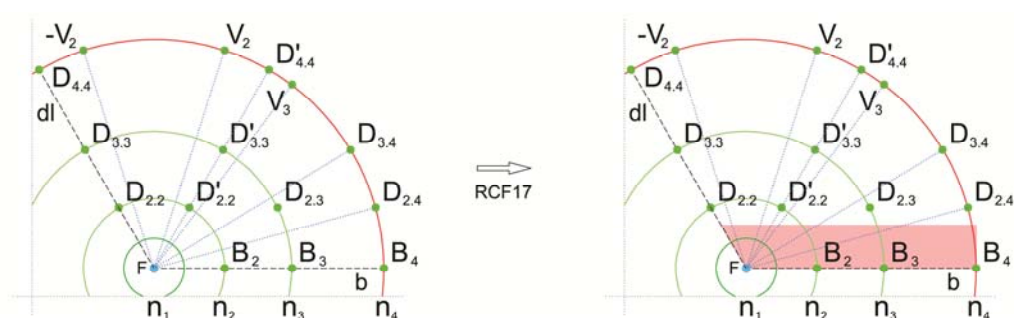


Fig. 85 – Exemplo de aplicação da regra RCF17.

Definição da zona de interdicação cuja altura medida na perpendicular ao segmento de reta b é igual $1/8 (rn_4 + ra)$

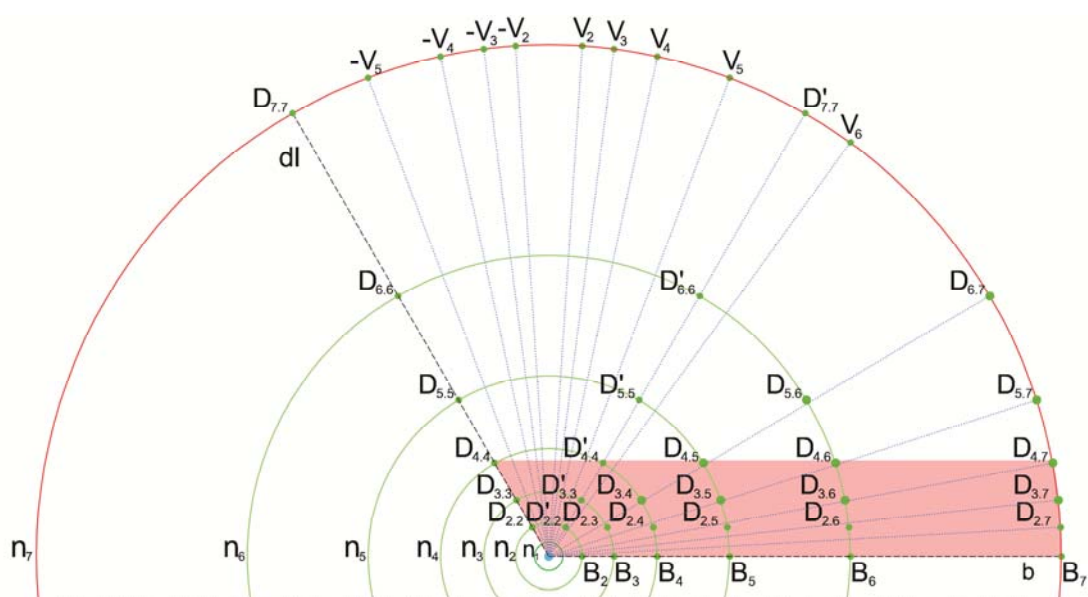


Fig. 86 – Exemplo de uma base estrutural com 7 níveis de expansão, com ângulo de expansão igual a 120° . A zona de interdicação obriga a que o perfil formal, que se irá começar a definir a partir da regra RCF19, inclua pontos acima dos definidos com referencial em n_3 .

_ RCF 18 – Definição da zona de geração formal fora dos padrões harmoniosos para os ângulos de expansão 360° .

Quando a opção é desenvolver uma composição geométrica cujo ângulo de expansão seja igual a 360° , a altura da zona de interdição, medida na perpendicular ao segmento de reta b , é igual a $1/8$ do diâmetro de n_i , sendo n_i o último nível de expansão da base estrutural (fig. 87, 88 e 89).

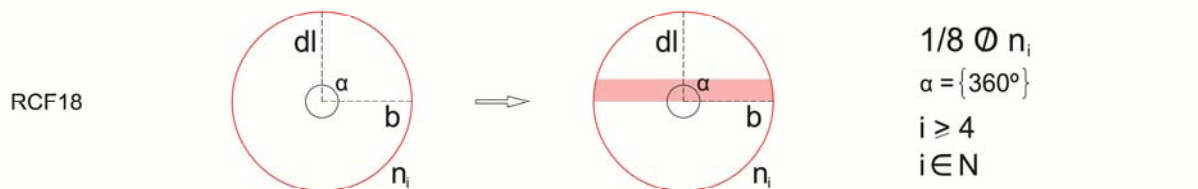


Fig. 87 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF18.

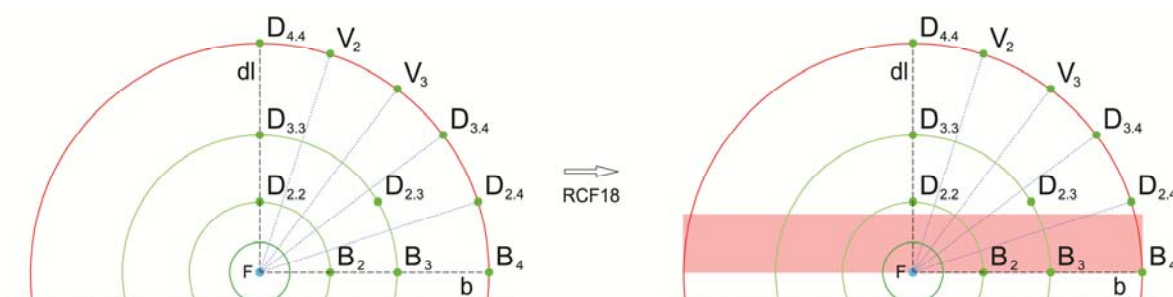


Fig. 88 – Exemplo de aplicação da regra RCF18.

Definição da zona de interdição cuja altura medida na perpendicular ao segmento de reta b é igual $1/8 \text{ } \varnothing n_4$.

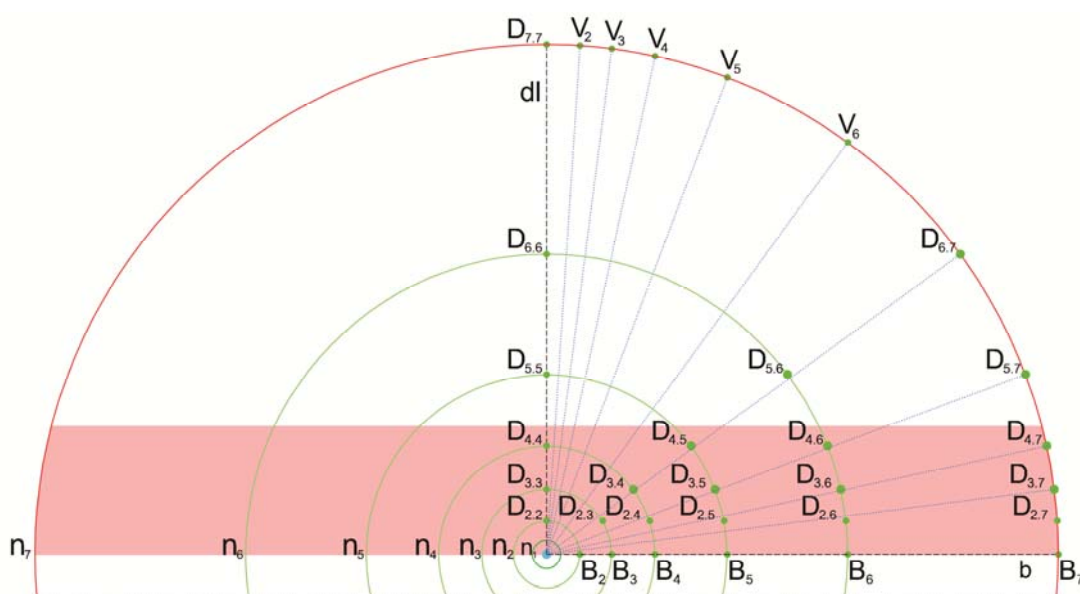


Fig. 89 – Exemplo de uma base estrutural com 7 níveis de expansão, com ângulo de expansão igual a 360° . A zona de interdição obriga a que o perfil formal, que se irá começar a definir a partir da regra RCF19, inclua pontos acima dos definidos com referencial em n_4 .

2.4 União de pontos

Finda a malha de pontos, inicia-se o desenho da composição geométrica. Nesta primeira fase, será apenas definido um perfil auxiliar que será posteriormente utilizado para definir mais profundamente a composição geométrica idealizada. Este perfil terá sempre como início o ponto F e termino num dos pontos B_i situados sobre o segmento de reta b. Serão constituídos por dois ou mais segmentos de reta e estes tem que ser, obrigatoriamente, definidos pelos pontos da malha de desenho gerada. O posicionamento e percurso do perfil ao longo da malha tem que ter em consideração quatro condicionantes geométricas:

1 - os segmentos de reta que constituem o perfil auxiliar não se podem cruzar;

2 - dois segmentos de reta contínuos, não podem formar entre si um ângulo inferior a 15° ;

3 - a dimensão dos segmentos de reta que constituem o perfil auxiliar, têm que estar relacionados proporcionalmente com a dimensão do segmento de reta que lhe antecede. Um segmento de reta deve apresentar uma dimensão tal, que esta não deve ser superior a quatro vezes ou inferior a $1/4$ da dimensão do segmento de reta anterior.

4 - a geração de novos segmentos de reta do perfil formal, não deve partilhar pontos com outros que não sejam os que os liga em continuidade, nem usar os pontos, que embora contidos nos troços do perfil auxiliar, não estejam contemplados na definição dos mesmos.

_ RCF19 – Hipóteses de união a partir do ponto F.

O perfil auxiliar, tem sempre o seu início no ponto F. O primeiro troço do perfil terá sempre que contemplar a ligação do ponto F com um ponto $D_{i,i}$. Tanto o ponto F como o troço do segmento de reta dl, mudam de cor. Passando o primeiro, de azul para rosa e o segundo de preto para azul. Esta mudança de cor visa a evitar que a descrição geométrica do lado A da regra continue a gerar diferentes segmentos de reta para o perfil formal a partir de F. A cor rosa do ponto F, também tem uma finalidade informativa. Esta cor vai indicar que esse ponto, já não poderá ser utilizado na definição de um outro segmento de reta do perfil. Como a definição do perfil auxiliar deve ser feita pela geração de segmentos de reta em continuidade e não de um modo aleatório, a descrição geométrica do ponto $D_{i,i}$, sofre também uma alteração após a aplicação da regra. Ao ponto verde que o define é acrescentado um arco de circunferência também de cor verde. Esta alteração tem o intuito de indicar que o próximo troço do perfil auxiliar, tem que partir obrigatoriamente daquele ponto (fig. 90 e 91).

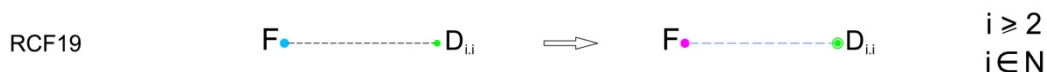


Fig. 90 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF19.

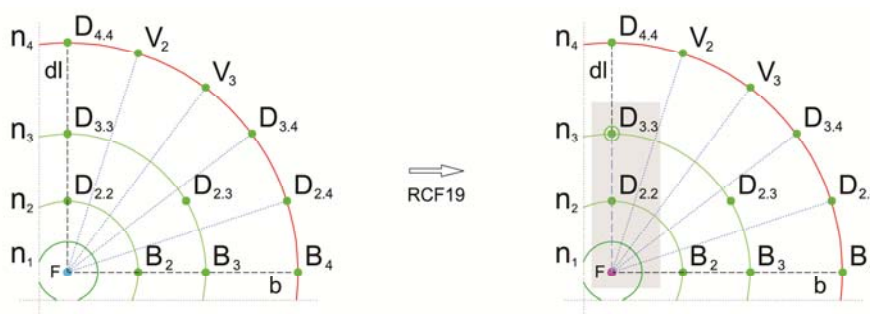


Fig. 91 – Exemplo de aplicação da regra RCF19.

Definição do primeiro troço do perfil auxiliar, entre os pontos F e $D_{3,3}$.

_ RCF20 – Exclusão do ponto como hipótese de união.

Sempre que um troço do perfil auxiliar atravessa pontos da malha que não correspondam aos pontos que definem o segmento de reta em causa, este devem mudar de cor. A alteração, de verde para vermelho, também vai indicar que este ponto deixa de ser uma opção na definição de um outro segmento de reta do perfil auxiliar (fig. 92 e 93).



Fig. 92 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF20.

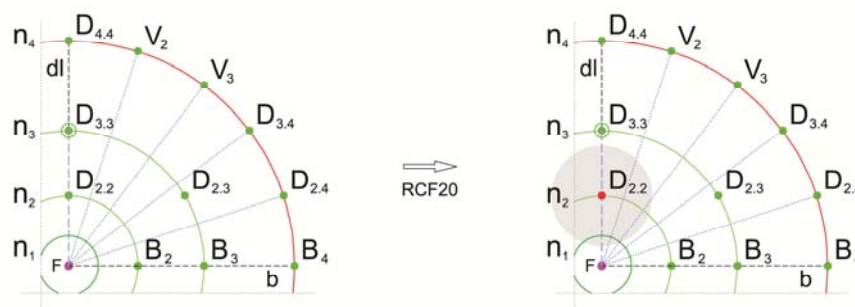


Fig. 93 – Exemplo de aplicação da regra RCF20.
O segmento de reta definido pelos pontos F e D_{3,3}, atravessa o ponto D_{2,2}.

_ RCF21 – Hipóteses de união a partir do ponto D_{i,i}.

Definido o primeiro troço do perfil auxiliar, sobre o segmento de reta dl, o seguinte troço não é obrigado a seguir sobre dl. A ligação a partir de um ponto D_{i,i} pode ser feita a um outro ponto do interior da malha, como são o caso dos pontos D_{i,i} e D_{a,b}, desde que obedeçam às quatro interdições geométricas definidas no ponto 3.3.2.4 (fig. 94 e 95).

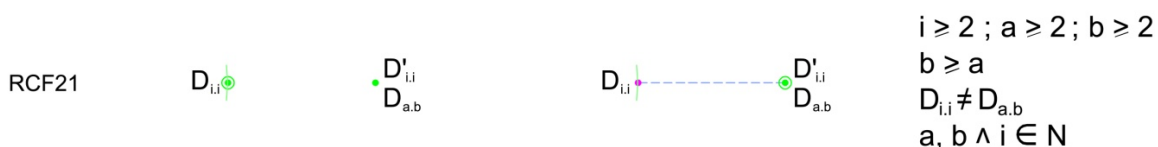


Fig. 94 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF21.

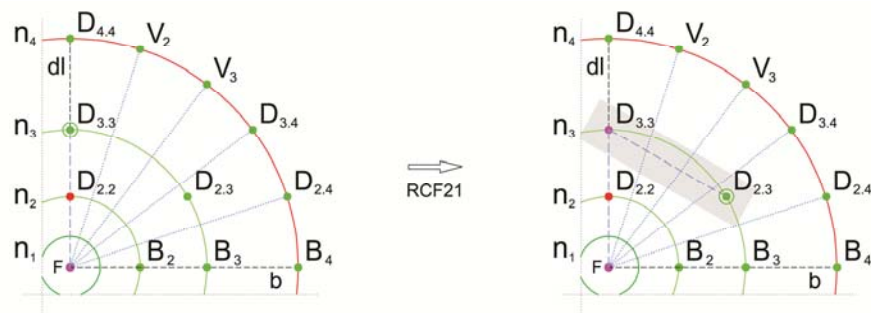


Fig. 95 – Exemplo de aplicação da regra RCF21.

Ligação do ponto $D_{3.3}$ ao ponto $D_{2.3}$. O troço $[D_{3.3}, D_{2.3}]$ não apresenta uma dimensão superior a 4 ou inferior a $1/4$, face ao troço anterior $[F, D_{3.3}]$. A união dos segmentos de reta também não apresenta um ângulo inferior a 15° .

_ RCF22 – Hipóteses de união do ponto $D_{i,j}$ a outros pontos D .

Os pontos $D_{i,j}$ podem estar localizados sobre o segmento de reta dl ou em qualquer outro ponto de designação D , dentro da área dos ângulos de expansão, que não os situados no último nível de expansão. Estes pontos podem ser ligados por meio de um segmento de reta de linha tracejada azul, a outros pontos situados sobre o segmento de reta dl ou um outro ponto de designação D , desde que cumpram as quatro restrições geométricas definidas no ponto 3.3.2.4. Para evitar que o ponto $D_{i,j}$ volte a ligar-se com outros pontos, a cor deste é alterada de verde para rosa (fig. 96, 97 e 98).

RCF22

 $D_{i,j}$
 $D_{a,b}$
 $D_{i+x,i+x}$
 $D_{i,j}$
 $D_{a,b}$
 $D_{i+x,i+x}$

$$\begin{aligned}
 & i \geq 2 ; j \geq 3 ; j > i \\
 & a \geq 2 ; b \geq 3 ; b > a \\
 & x \geq 2 \\
 & D_{i,j} \neq D_{a,b} \\
 & a, b, i, j \wedge x \in \mathbb{N}
 \end{aligned}$$

Fig. 96 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF22.

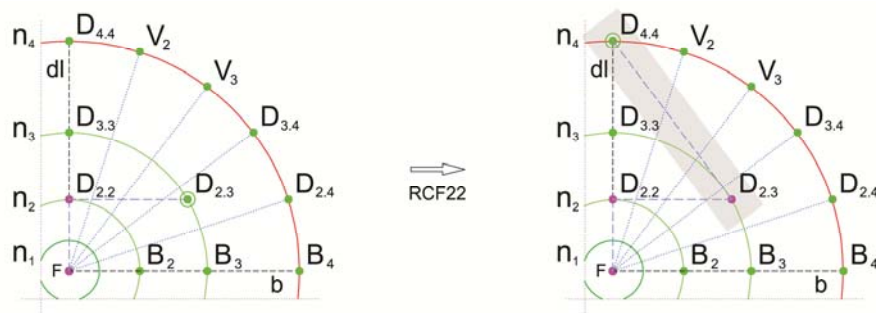


Fig. 97 – Exemplo 1 de aplicação da regra RCF22.

Definição de um segmento de reta do perfil auxiliar, a partir do ponto $D_{2.3}$ ao ponto $D_{4.4}$ situado sobre o segmento de reta dl .

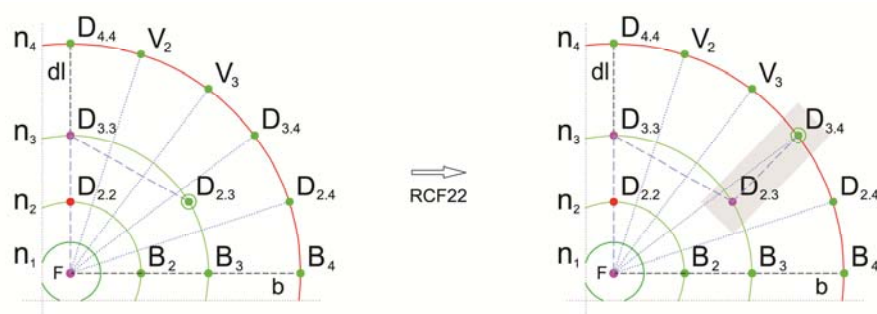


Fig. 98 – Exemplo 2 de aplicação da regra RCF22.

União do ponto $D_{2.3}$ ao ponto $D_{3.4}$, através de um segmento de reta do perfil auxiliar.

_ RCF23 – Hipóteses de união do ponto $D'_{i,i}$ a outros pontos de designação D .

Um ponto $D'_{i,i}$, situado num nível de expansão que não o último, pode unir-se por meio de um segmento de reta a um outro ponto D' ou D de cor verde, desde que cumpram as restrições geométricas definidas no ponto 3.3.2.4. Para que $D'_{i,i}$, não esteja continuamente a unir-se a outros pontos, a sua cor é alterada, passando de verde para rosa (fig. 99, 100 e 101).

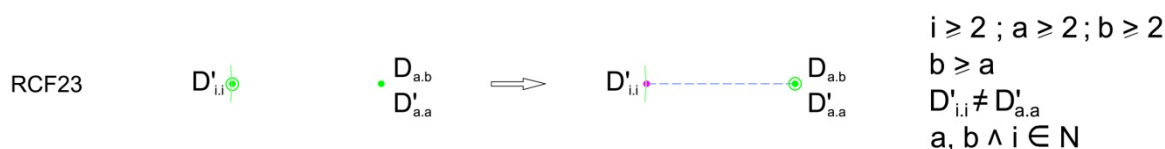


Fig. 99 – Descrição geométrica e algébrica da regras RCF23.

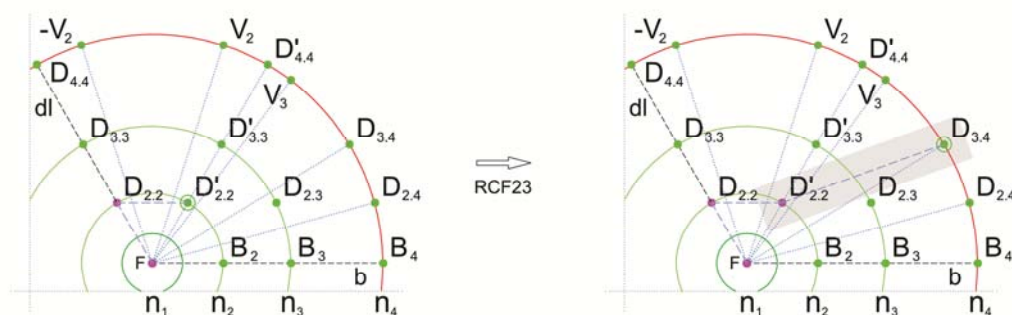


Fig. 100 – Exemplo 1 de aplicação da regra RCF23.

União entre um ponto $D'_{i,i}$ ($D'_{2.2}$) e um ponto $D_{a,b}$ ($D_{3.4}$).

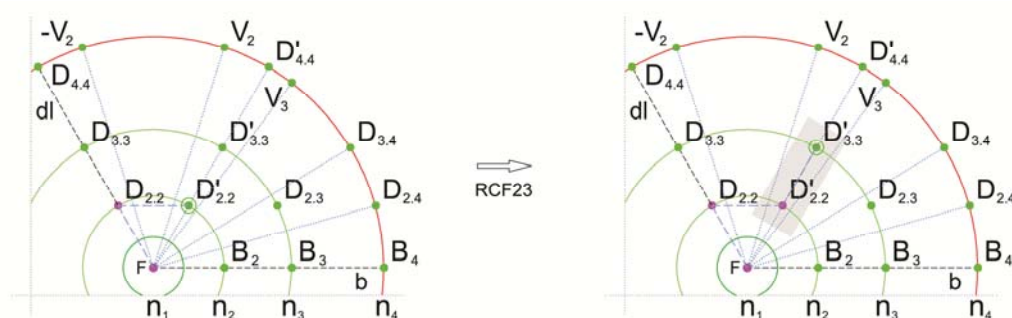


Fig. 101 – Exemplo 2 de aplicação da regra RCF23.

União entre um ponto $D'_{i,i}$ ($D'_{2.2}$) e um ponto $D'_{a,a}$ ($D'_{3.3}$).

– RCF24 – União a partir dos pontos $D'_{i,i}$, $D_{i,i}$ e $D_{i,j}$ a pontos V_t e B_a localizados no perímetro do último nível de expansão.

Os pontos $D_{i,i}$, $D'_{i,i}$ e $D_{i,j}$ que não se situam no último nível de expansão, podem unir-se diretamente aos pontos B_a , V_t e $-V_t$ situados sobre o último nível de expansão, desde que cumpram as quatro restrições geométricas definidas no ponto 3.3.2.4. A mudança de cor dos pontos $D_{i,i}$, $D'_{i,i}$ e $D_{i,j}$, de verde para rosa, vai impedir que após a aplicação da regra, estes possam gerar outras uniões a partir de si próprios (fig. 102, 103, 104 e 105).

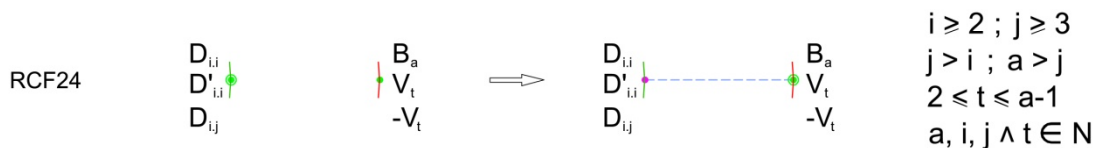


Fig. 102 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF24.

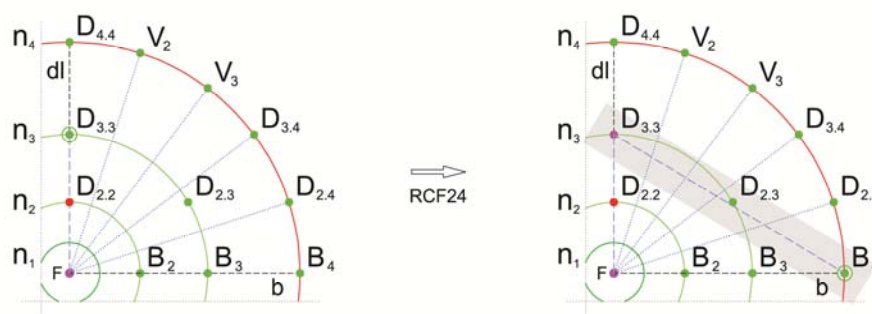


Fig. 103 – Exemplo 1 de aplicação da regra RCF24.
União de um ponto $D_{i,i}$ ($D_{3,3}$) a um ponto B_a (B_4).

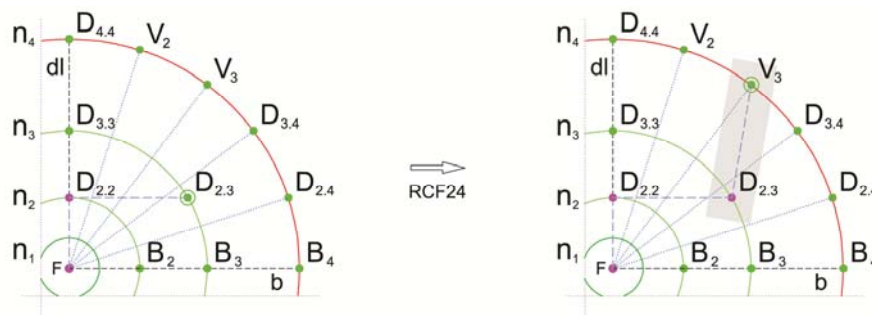


Fig. 104 – Exemplo 2 de aplicação da regra RCF24.
União de um ponto $D_{i,j}$ ($D_{2,3}$) a um ponto V_t (V_3).

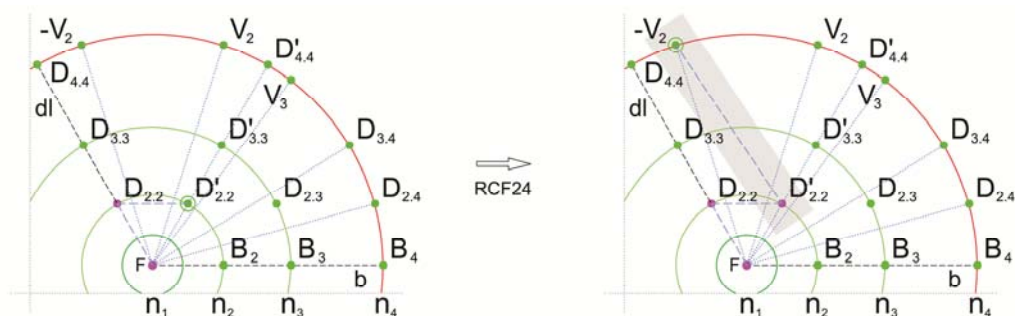


Fig. 105 – Exemplo 3 de aplicação da regra RCF24.
União a partir de um ponto $D'_{i,i}$ ($D'_{2,2}$) a um ponto $-V_t$ ($-V_2$).

– RCF25 – Hipóteses de união do ponto $D_{i,i}$ a pontos D, B e V , com todos os pontos localizados no último nível de expansão.

Quando o perfil auxiliar atinge um ponto $D_{i,i}$ no último nível de expansão, este não pode voltar a unir-se a outros pontos que não estejam situados no último nível de expansão, desde que cumpram as quatro restrições geométricas definidas no ponto 3.3.2.4. As hipóteses de união são diversas, sendo elas: $D'_{i,i}$, $D_{a,b}$, B_i , V_t e $-V_t$. O segmento de reta que definirá a união dos dois pontos situados no último nível de expansão, será de linha contínua azul, ao invés da linha tracejada usada nas regras anteriores. Também, neste caso, para evitar que o ponto $D_{i,i}$ consiga gerar outras ligações após a aplicação da regra, a cor deste ponto passa de verde para rosa (fig. 106, 107, 108 e 109).

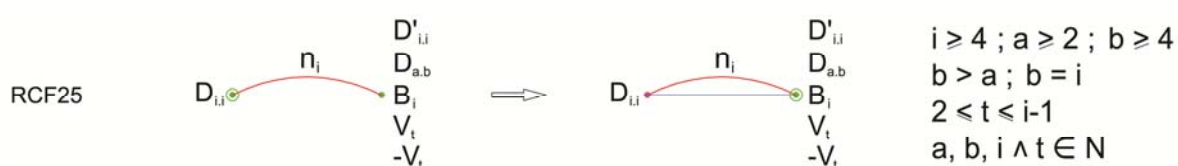


Fig. 106 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF25.

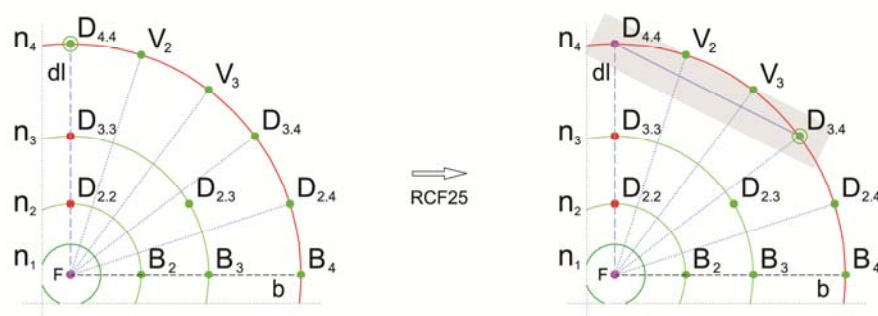


Fig. 107 – Exemplo 1 de aplicação da regra RCF25.
 União de um ponto $D_{i,i}$ ($D_{4,4}$) a um ponto $D_{a,b}$ ($D_{3,4}$)

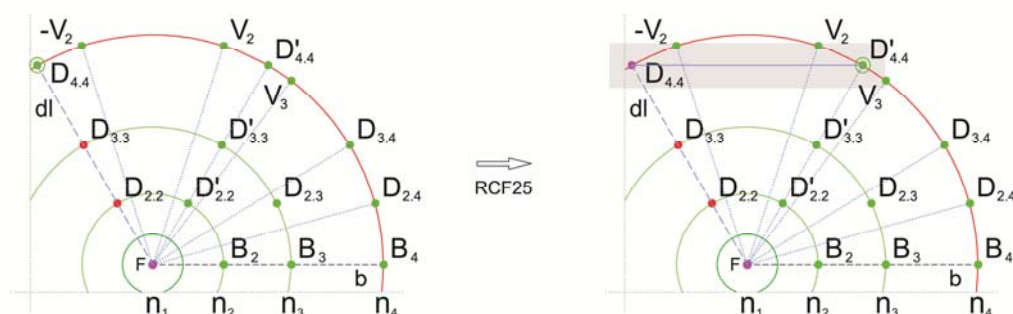


Fig. 108 – Exemplo 2 de aplicação da regra RCF25.
 União de um ponto $D_{i,i}$ ($D_{4,4}$) com um ponto $D'_{i,i}$ ($D'_{4,4}$).

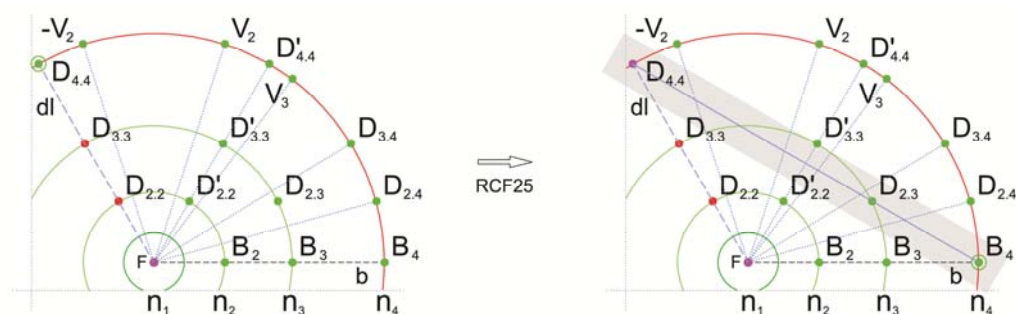


Fig. 109 – Exemplo 3 de aplicação da regra RCF25.
União de um ponto $D_{i,i}$ ($D_{4,4}$) ao ponto B_i (B_4).

– RCF26 – União do ponto $-V_t$ ao ponto $-V_s$.

Nos casos em que o ângulo de expansão definido é de 120° ou 135° (ver RCF1) pode-se efetuar a união entre dois pontos $-V$ sobre o último nível de expansão, através de um segmento de reta de linha contínua, desde que o valor atribuído ao ponto $-V$, de onde vai partir a união, seja superior ao valor do ponto $-V$, para onde é direcionada a união. Para além desta restrição, as outras quatro definidas no ponto 3.3.2.4, também devem ser tidas em consideração. Para evitar que o ponto $-V_t$ se possa unir com com outras pontos $-V_s$, o ponto muda de cor, passando de verde para rosa (fig. 110 e 111).

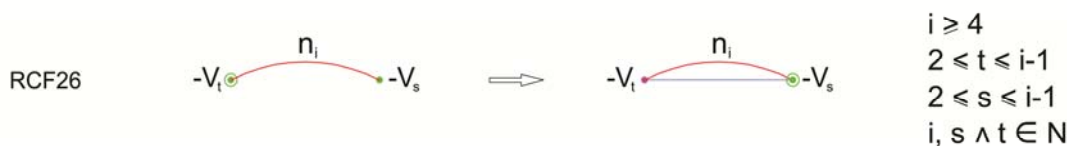


Fig. 110 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF26.

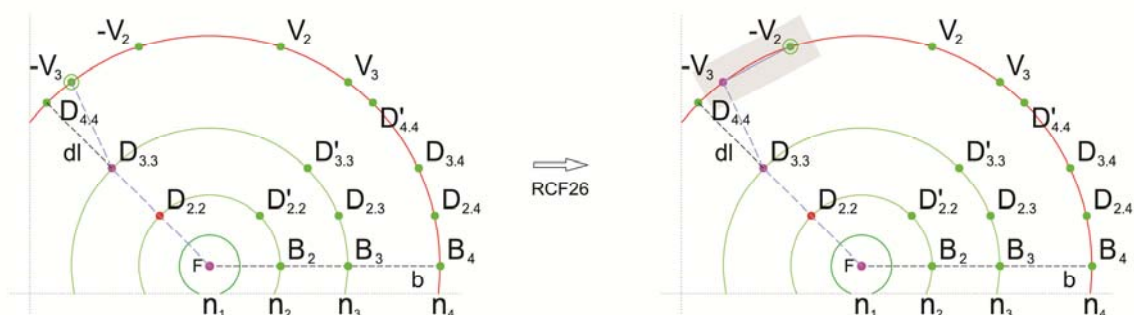


Fig. 111 – Exemplo de aplicação da regra RCF26.
União de um ponto $-V_t$ ($-V_3$) com um ponto $-V_s$ ($-V_2$).

– RCF27 – Hipóteses de união do ponto $-V_t$ a pontos D, B e V , com todos os pontos localizados no último nível de expansão.

Para além da união descrita na regra RCF27, os pontos $-V_t$ também podem unir-se a pontos V_s , $D_{a,b}$ e B_b , situados no último nível de expansão, desde que cumpram os quatro requisitos geométricos definidos no ponto 3.3.2.4. A união será também feita por um segmento de reta de linha contínua azul e a cor do ponto V_t , que também irá mudar de verde para rosa, de modo a evitar a

geração de novos segmentos de reta com outros pontos para além do já definido (fig. 112, 113 e 114).

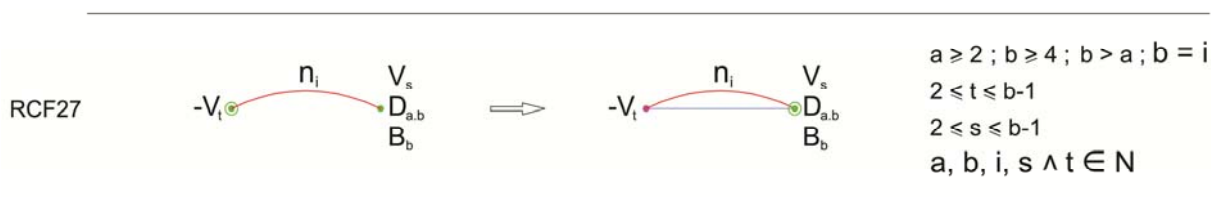


Fig. 112 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF27.

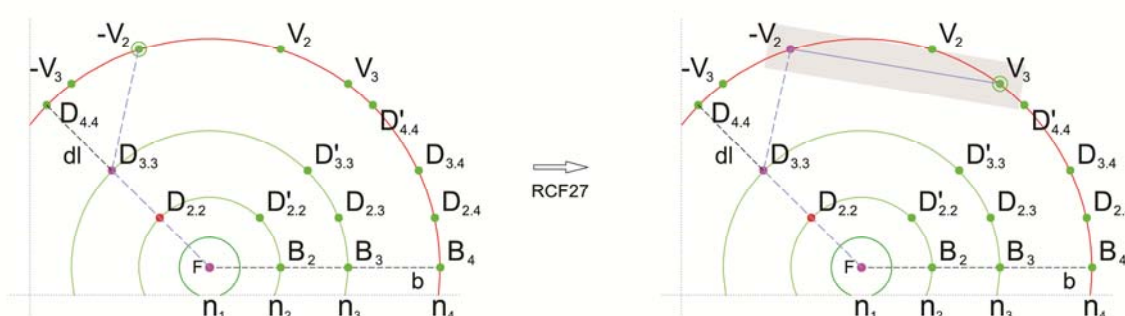


Fig. 113 – Exemplo 1 de aplicação da regra RCF27.
União de um ponto $-V_t$ ($-V_2$) a um ponto V_s (V_3).

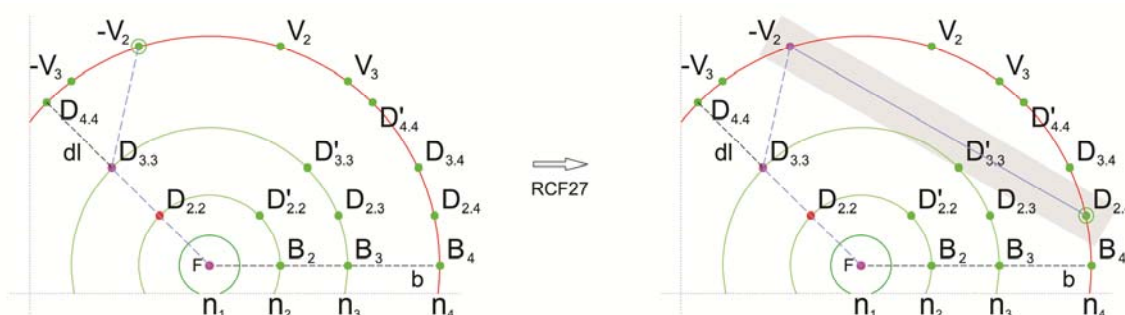


Fig. 114 – Exemplo 2 de aplicação da regra RCF27.
União de um ponto $-V_1$ ($-V_2$) a um ponto $D_{a,b}$ ($D_{2,4}$).

— RCF28 – União do ponto V_t ao ponto V_s .

Quando o perfil auxiliar chega a um ponto V_t , a união com um ponto V_s apresenta-se como uma hipótese, desde que o valor atribuído a “s” seja sempre superior ao valor atribuído a t. Esta união também deve cumprir as restrições geométricas descritas no ponto 3.3.2.4. Por serem dois pontos que se situam no último nível de expansão, a união será feita com um segmento de reta de linha contínua azul. A cor de V_t também irá mudar de verde para rosa, para evitar que a regra se repita de novo na mesma descrição geométrica do lado A da regra (fig. 115 e 116).



Fig. 115 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF28.

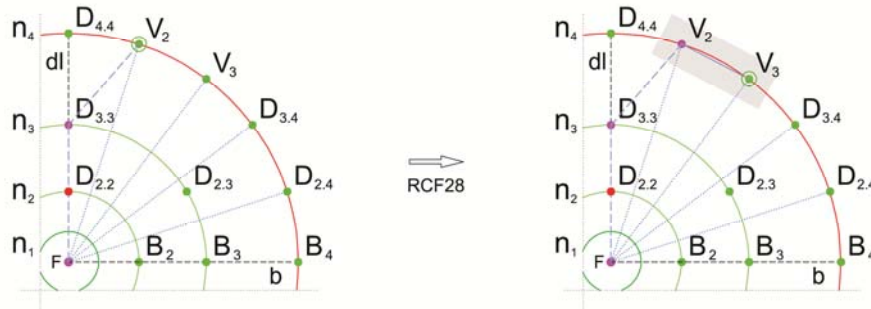


Fig. 116 – Exemplo de aplicação da regra RCF28.

União de um ponto V_t (V_2) com um ponto V_s (V_3).

_ RCF29 – Hipóteses de união do ponto V_t a pontos D e B , com todos os pontos localizados no último nível de expansão.

A união descrita para um ponto V_t na regra RCF29, não é a única possível para este tipo de pontos. Estes também podem-se unir por meio de um segmento de reta de linha contínua azul a pontos $D_{a,b}$ e B_b situados no último nível de expansão, desde que cumpram os quatro requisitos geométricos definidos no ponto 3.3.2.4.. Após a aplicação da regra, a cor de V_t passa de verde para rosa. Assim, não será possível gerar mais segmentos de reta a partir desse mesmo ponto (fig. 117, 118 e 119).



Fig. 117 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF29.

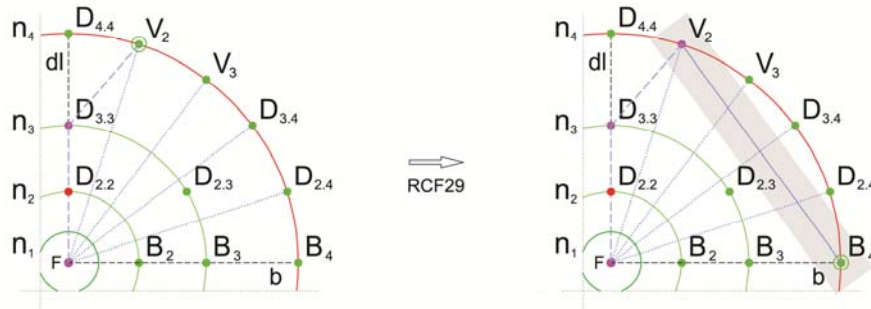
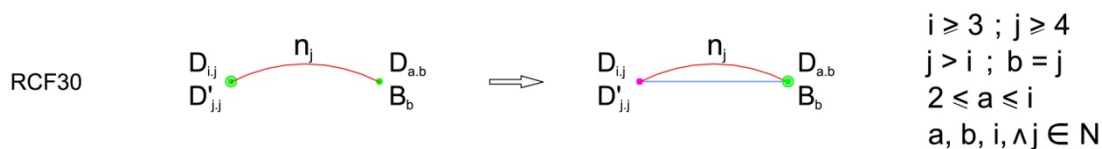


Fig. 118 – Exemplo 1 de aplicação da regra RCF29.

União de um ponto V_t (V_2) a um ponto B_b (B_4).

– RCF30 – União de pontos $D_{i,j}$ e $D'_{j,j}$ a pontos $D_{a,b}$, com todos os pontos localizados no último nível de expansão.

Sempre que o perfil auxiliar atinge o ponto D_{ij} ou D'_{jj} , estes podem apresentar duas hipóteses de ligação: ou com pontos $D_{a,b}$ ou com o ponto B_b , desde que cumpram os quatro requisitos geométricos definidos no ponto 3.3.2.4. Como todos estes pontos se situam sobre o último nível de expansão, a união será feita com um segmento de reta de linha contínua azul. Para evitar a geração de várias uniões a partir dos pontos D_{ij} ou D'_{jj} , o ponto muda de cor, passando de verde para rosa (fig. 120, 121 e 122).



The figure consists of two diagrams illustrating the RCF30 algorithm. Both diagrams show a set of concentric arcs centered at a point F on the left. The arcs are labeled n_1, n_2, n_3, n_4 from bottom to top. Points B_1, B_2, B_3, B_4 are marked on the horizontal axis. Points $D_{i,j}$ are marked on the arcs, and points V_1, V_2, V_3, V_4 are marked on the outermost arc. The left diagram shows the initial state, and the right diagram shows the result after the RCF30 algorithm, where the points are repositioned to form a new set of arcs.

67

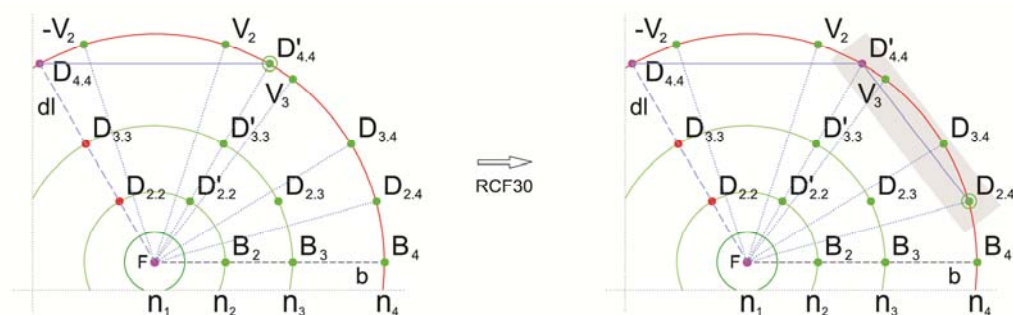
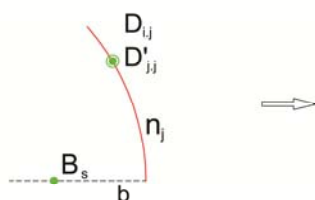


Fig. 122 – Exemplo 2 de aplicação da regra RCF30.
União de um ponto $D'_{i,j}$ ($D'_{4,4}$) a um ponto $D_{a,b}$ ($D_{2,4}$).

– RCF31 – União de pontos $D_{i,j}$ e $D'_{j,j}$ localizados no último nível de expansão a pontos B_s localizados no segmento de reta b .

A união a partir de pontos $D_{i,j}$ e $D'_{j,j}$, pode revelar mais uma hipótese de união que não foi contemplada na regra RCF30. Estes pontos podem unir-se a um ponto B_s , que se situa sobre o segmento de reta b , desde que cumpram os quatro requisitos geométricos definidos no ponto 3.3.2.4. Como esta união, não inclui dois pontos situados sobre o último nível de expansão, a união será feita mediante um segmento de reta de linha tracejada azul. Para evitar que estes pontos gerem uniões com outros pontos B_s , a cor do ponto passa de verde para rosa (fig. 123, 124 e 125).



$$\begin{aligned} i &\geq 2 ; j \geq 4 \\ j &> i \\ 2 &\leq s < j \\ a, b, i, j \wedge s &\in \mathbb{N} \end{aligned}$$

Fig. 123 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF31.

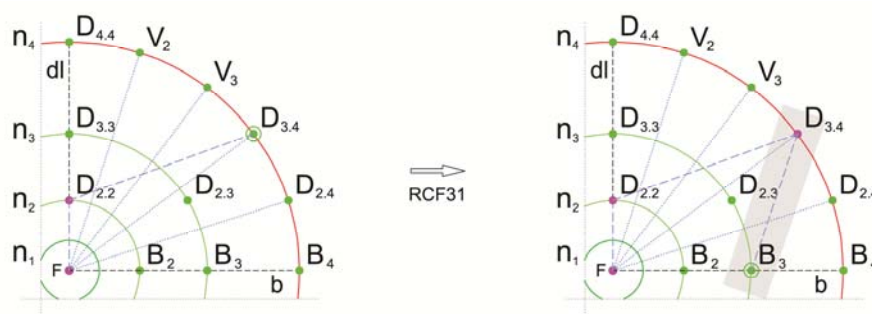


Fig. 124 – Exemplo 1 de aplicação da regra RCF31.
União de um ponto $D_{i,j}$ ($D_{3,4}$) com um ponto B_s (B_3).

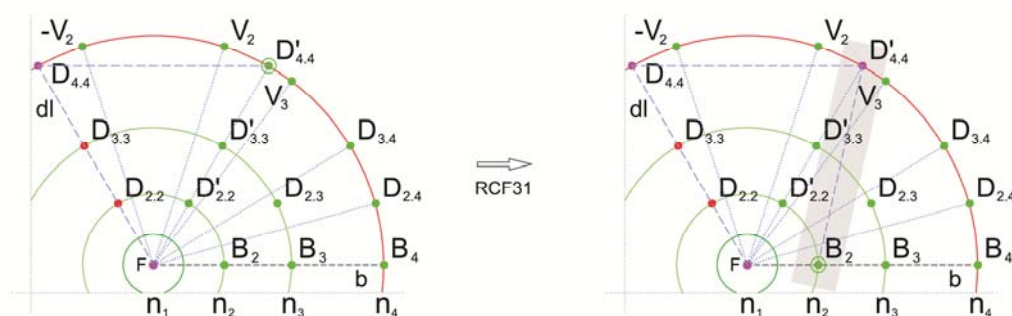


Fig. 125 – Exemplo 2 de aplicação da regra RCF31.
União de um ponto D'_{ij} ($D'_{4,4}$) com um ponto B_s (B_2).

_ RCF32 – Término da união de pontos.

Sempre que o perfil auxiliar atinge um ponto B_i , significa que chegou ao seu ponto final. Assim sendo, a cor do ponto passará de verde para rosa (fig. 126 e 127).

RCF32		\Rightarrow		$i \geq 2$ $i \in \mathbb{N}$
-------	--	---------------	--	----------------------------------

Fig. 126 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF32.

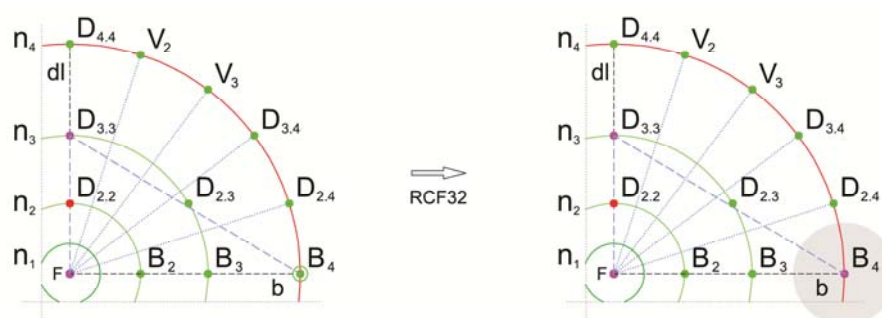


Fig. 127 – Exemplo de aplicação da regra RCF32.
Mudança de cor do ponto B_i (B_4) de verde para rosa.

_ RCF 33 – Redefinição de um segmento de reta do perfil auxiliar.

Em situações em que o ângulo de expansão definido entre os segmentos de reta b e dl seja igual a 90° e se pretenda gerar uma forma por simetria radial, o perfil auxiliar pode ser interrompido. Esta interrupção pode ser realizada nos casos onde exista união entre um ponto $D_{i,i}$ e um ponto V_t . O segmento de reta de linha tracejada definida por esses dois pontos, pode ser transformado num segmento de reta de linha contínua, quando a partir de um ponto V_t , o segmento de reta é lançado na perpendicular a dl (fig. 128 e 129).

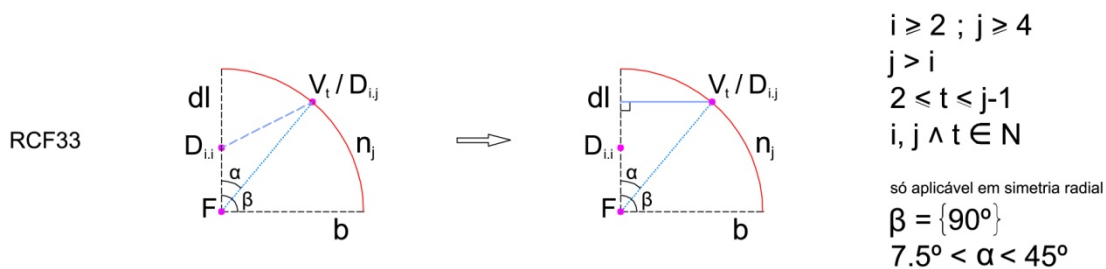


Fig. 128 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF33.

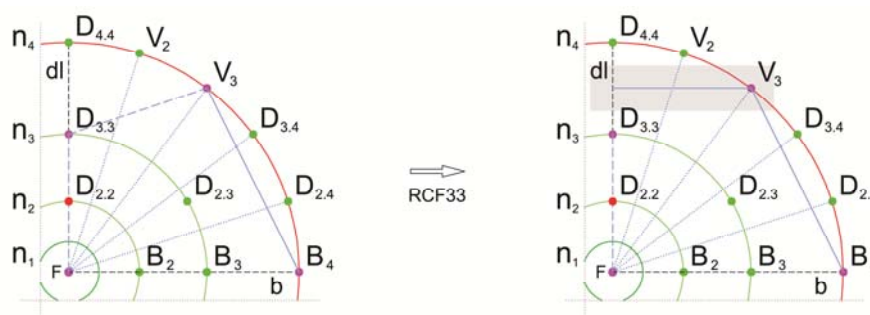


Fig. 129 – Exemplo de aplicação da regra RCF33.

Quebra da união entre um ponto $D_{i,i}$ ($D_{3,3}$) e um ponto V_t (V_3). Definição de um segmento de reta a partir de V_3 e perpendicular a dl .

RCF 34 – Termino do perfil auxiliar perpendicularmente ao segmento de reta b.

Uma outra situação não usual com a lógica já descrita das regras anteriores, surge com a regra RCF34. Sempre que o perfil auxiliar alcança um ponto $D_{i,j}$, este pode ter a hipótese de não se unir a um outro ponto, mas sim, ser definido na perpendicular ao segmento de reta b, onde no qual se vai delimitar. Contudo, para que a regra possa ser aplicada, é necessário que a linha de foco que une o ponto F ao ponto $D_{i,j}$, faça um ângulo (α) com o segmento de reta b não inferior a $7,5^\circ$ e não superior a 45° . Sendo $D_{i,j}$ um ponto localizado sobre o último nível de expansão, a união será feita mediante um segmento de reta de linha contínua. Para evitar a união do ponto $D_{i,j}$ com outros pontos, a sua cor, passará de verde para rosa (fig. 130 e 131).

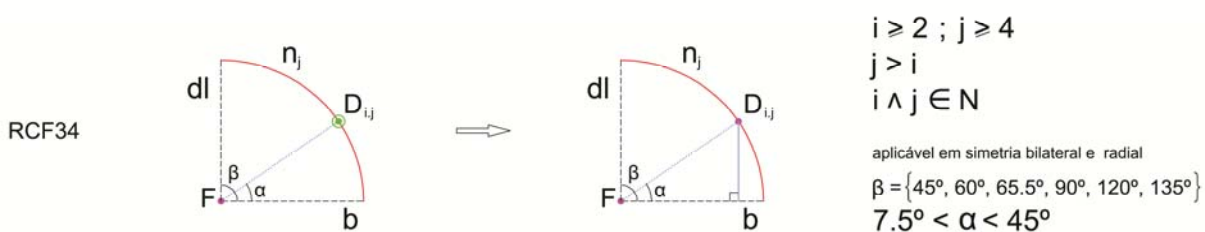


Fig. 130 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF34.

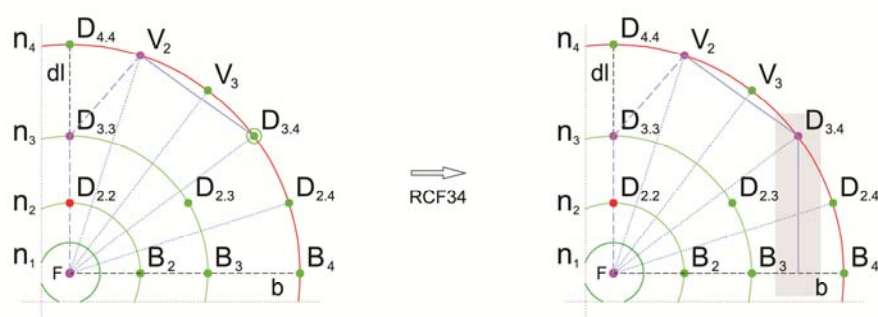


Fig. 131 – Exemplo de aplicação da regra RCF34.

Definição de um segmento de reta do perfil auxiliar na perpendicular ao segmento de reta b, a partir de um ponto D_{ij} ($D_{3.4}$).

2.5 Geração formal por simetria bilateral ou radial

Uma das mais claras e evidentes características das estruturas vivas é a simetria. A simetria ou pode ser bilateral, onde metade da composição aparenta ser um espelho da outras metade da composição, ou pode ser radial, onde um mesmo elemento ou conjunto de elementos se repete continuamente ao longo de um eixo de 360°.

- Simetria bilateral

Neste processo de desenho, a simetria bilateral pode ser aplicada quando o ângulo de expansão estrutural definido em RCF1, responde aos seguintes valores: 45°, 60°, 65,5°, 90°, 120° e 135°. O eixo de simetria também será sempre fixo no segmento de reta b (bissetriz).

As retas que definem o perfil formal a “espelhar”, podem apresentar-se perante o eixo de simetria com diferentes posicionamentos tipo. Assim sendo, a cada uma destas situações tipo, a gramática fez corresponder uma regra (RCF 35, RCF36, RCF37, RCF38, RCF39, RCF40).

_ RCF 35 – Simetria bilateral de um segmento de reta de linha tracejada.

O segmento de reta de linha tracejada definido por dois pontos é um desses casos tipo. O processo de reflexão inclui não só o segmento de reta, como também os pontos que o definem. Para evitar uma contínua repetição da regra a partir da mesma descrição geométrica do lado A da regra, o segmento de reta tracejado muda de cor, passando de azul para rosa. O novo segmento de reta resultante da aplicação da regra, também será representado com a mesma tonalidade (fig. 132 e 133).

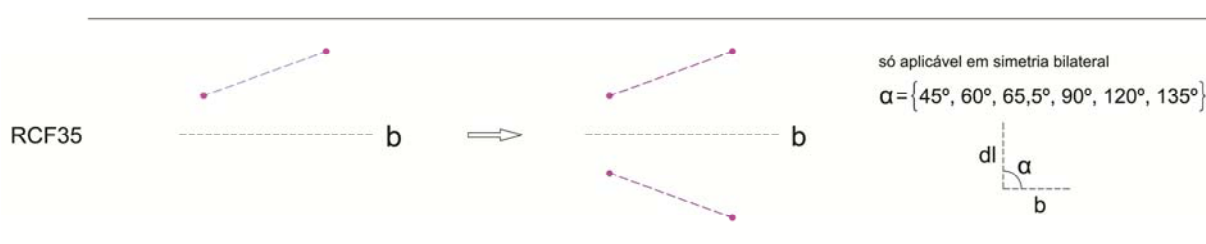


Fig. 132 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF35.

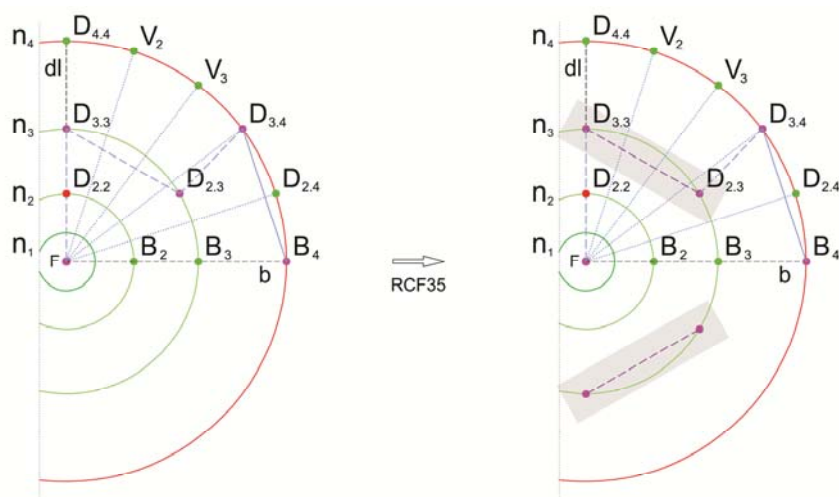


Fig. 133 – Exemplo de aplicação da regra RCF35.
Reflexão do segmento de reta definido pelos pontos $D_{3.3}$ e $D_{2.3}$.

_ RCF 36 – Simetria bilateral de um segmento de reta de linha tracejada com um ponto sobre o eixo de simetria.

Um outro posicionamento tipo que os segmentos de reta de linha tracejada podem revelar na base estrutural dá-se quando um dos pontos que o delimitam situa-se sobre o eixo de simetria. Nestes casos, o ponto sobre o eixo de simetria mantém-se, sendo apenas refletido o segmento de reta e o outro ponto que o delimita. Tal como na regra RCF35, para evitar que a regra esteja continuamente a ser aplicada na descrição geométrica do lado A da regra, o segmento de reta muda de cor azul para a cor rosa. A mesma tonalidade será aplicada ao novo segmento de reta que resulta da aplicação da regra (fig. 134 e 135).

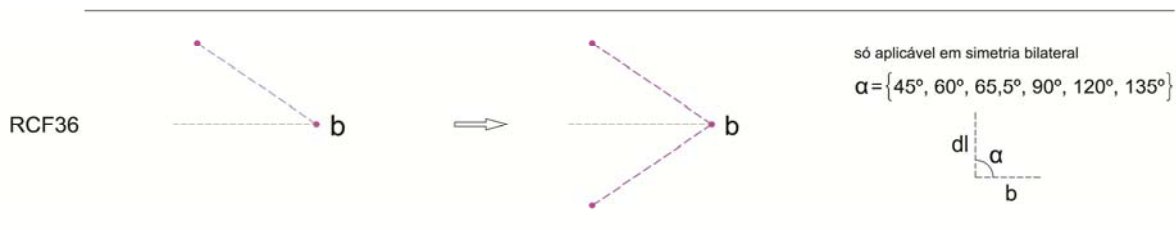


Fig. 134 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF36.

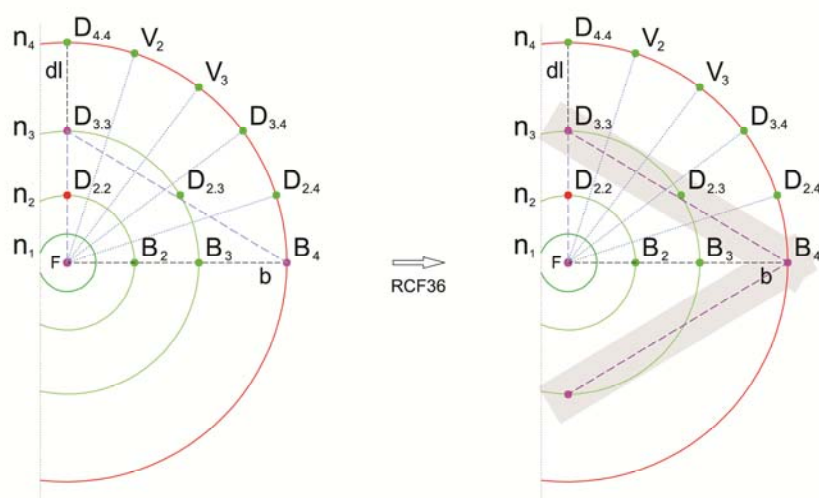


Fig. 135 – Exemplo de aplicação da regra RCF36.
Reflexão do segmento de reta definido pelos pontos $D_{3.3}$ e B_4 .

_ RCF 37 – Simetria bilateral de um segmento de reta de linha contínua.

Posicionamentos tipo muito idênticos aos das regras RCF35 e RCF36, podem ser encontrados nos segmentos de reta de linha contínua na estrutura base. Nestes casos, a reflexão também inclui, não só o segmento de reta, como também os pontos de o delimitam. A alteração de cor no segmento de reta sujeito a reflexão é essencial para evitar uma constante repetição da regra no mesmo referencial. Ao segmento de reta resultante da reflexão, também será atribuída a mesma cor (fig. 136 e 137).

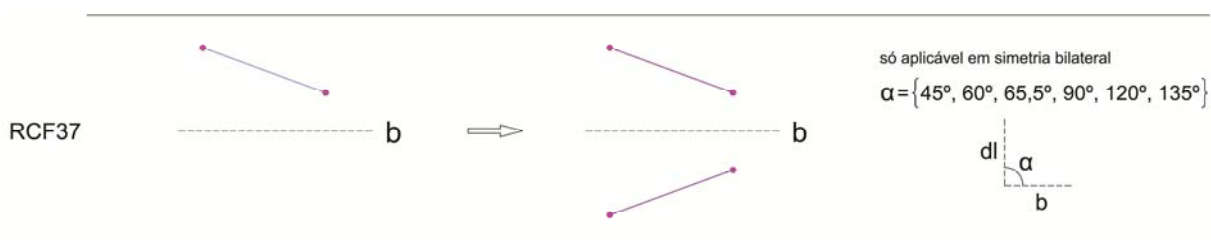


Fig. 136 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF37.

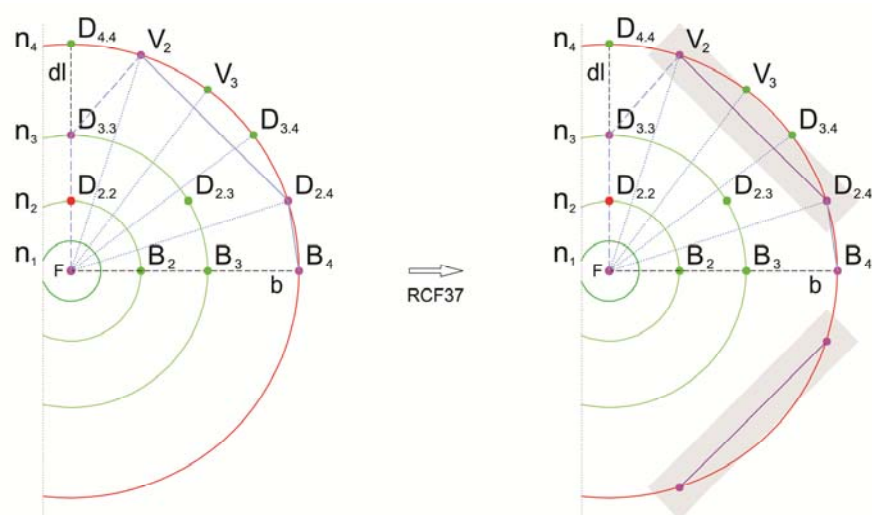


Fig. 137 – Exemplo de aplicação da regra RCF37.
Reflexão do segmento de reta definido pelos pontos V_2 e $D_{2.4}$.

_ RCF 38 – Simetria bilateral de um segmento de reta de linha contínua com um ponto sobre o eixo de simetria.

Tal como na regra RCF36, os segmentos de reta de linha contínua também podem posicionar um dos pontos que o delimitam sobre o eixo de simetria b . O procedimento será também idêntico ao da regra RCF36, onde é mantido o ponto sobre o eixo de simetria e é refletido o segmento de reta e o outro ponto delimitador. A alteração de cor do segmento de reta sujeito à reflexão, é essencial para evitar uma constante repetição da regra na descrição geométrica do lado A da mesma. Ao segmento resultante da reflexão, também é atribuída a mesma cor (fig. 138 e 139).

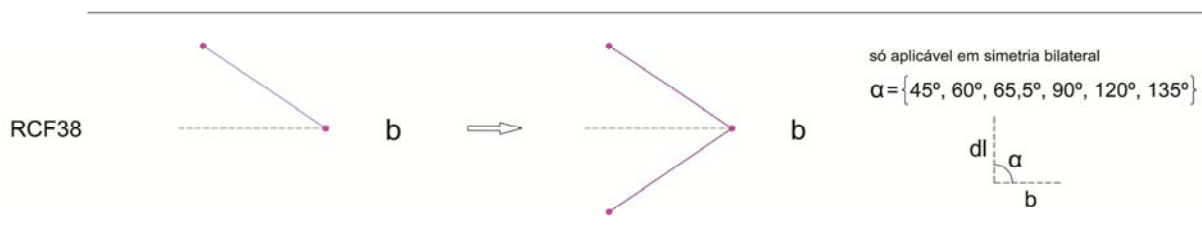
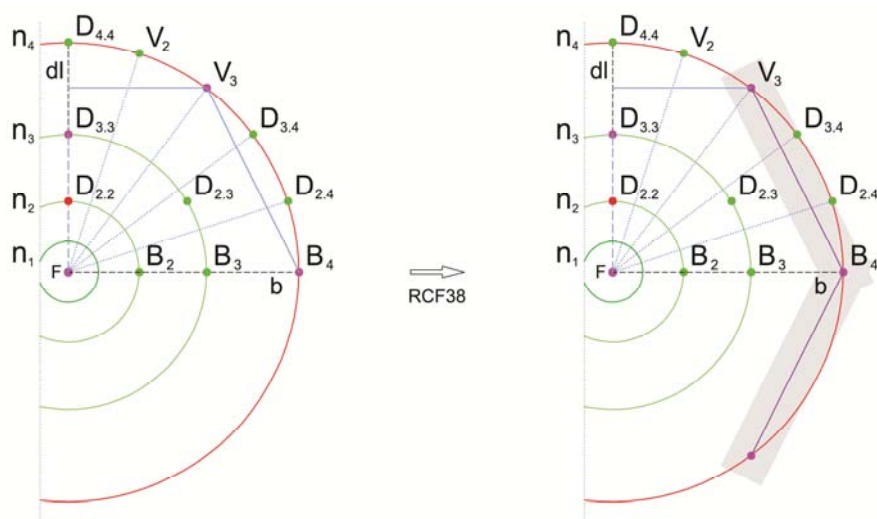


Fig. 138 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF38.

Fig. 139 – Exemplo de aplicação da regra RCF38.
Reflexão do segmento de reta definido pelos pontos V_3 e B_4 .

_ RCF 39 – Simetria bilateral de um segmento de reta definido apenas por um ponto da malha de desenho e perpendicular ao eixo de simetria.

Um posicionamento tipo que apenas se pode encontrar nos segmentos de reta de linha contínua, é a disposição perpendicular face ao eixo de simetria. Este segmento de reta é apenas delimitado por um ponto da estrutura base e o eixo de simetria. A ideia é que após a reflexão do ponto e do segmento de reta, este seja interpretado como sendo apenas um segmento de reta definido por dois pontos. Contudo, para que esta regra seja aplicada, é necessário que este segmento de reta tenha uma dimensão entre o dobro e a metade da dimensão do segmento de reta que lhe antecede em continuidade no perfil auxiliar.

Mais uma vez, a cor é alterada de modo a evitar uma contínua repetição da regra na descrição geométrica do lado A da mesma, sendo essa mesma cor, também atribuída ao novo segmento de reta resultante da reflexão (fig. 140 e 141).

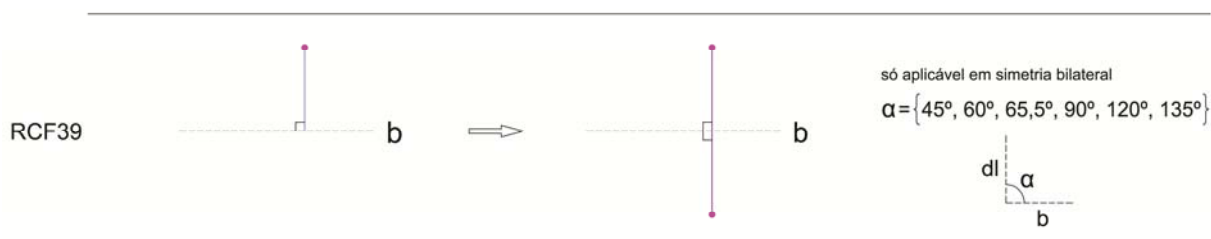


Fig. 140 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF39.

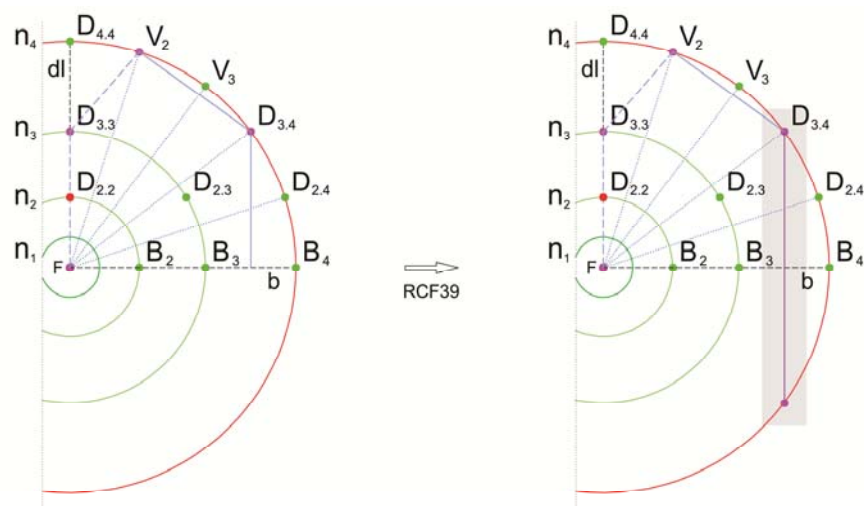


Fig. 141 – Exemplo de aplicação da regra RCF39.

Geração de um segmento de reta a partir da reflexão do segmento de reta referencial. A dimensão do segmento de reta gerado situa-se dentro do intervalo de valores definidos como harmônicos $[1/4;4]$, face ao segmento de reta que o antecede em continuidade no perfil auxiliar.

_ RCF 40 – Simetria bilateral das linhas de foco.

As linhas de foco, que unem o ponto F aos pontos situados no último nível de expansão, também estão sujeitos a regras de simetria bilateral. A reflexão destes segmentos de reta é importante, pois é através deles que se definem os arcos compostos (ver regras RCF57 e RCF58). Para evitar a contínua repetição da regra, é também necessário mudar a cor do segmento de reta que é refletido. Ao segmento de reta resultante, também será atribuída a mesma cor (fig. 142 e 143).

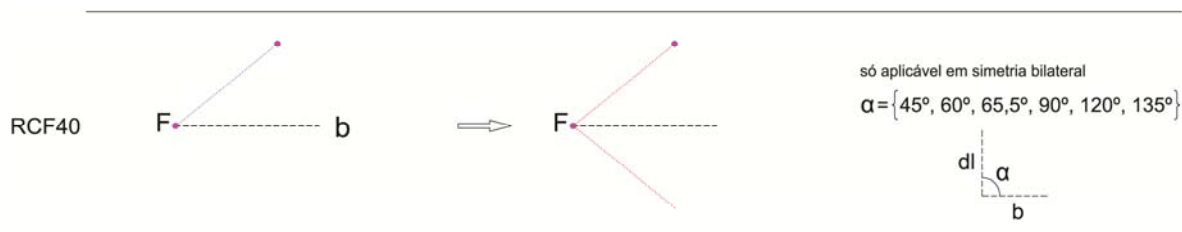


Fig. 142 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF40.

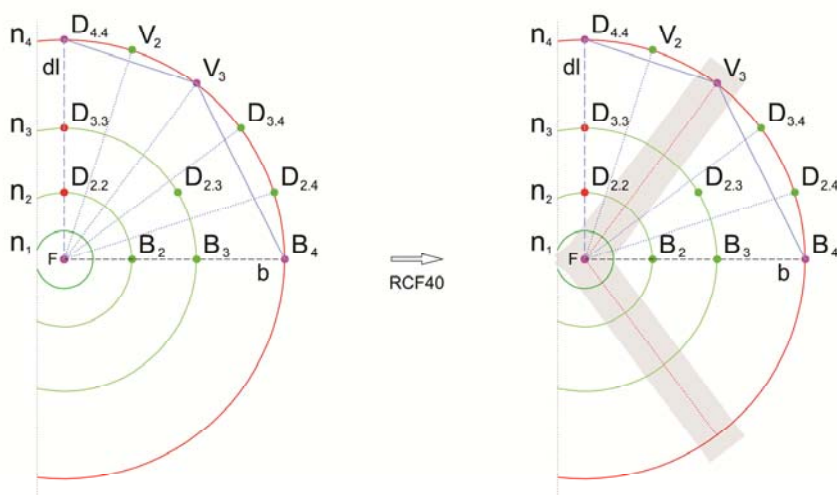


Fig. 143 – Exemplo de aplicação da regra RCF40.

Reflexão bilateral da linha de foco definida pelos pontos F e V3.

- Simetria radial

A simetria radial só poderá ser aplicada neste processo de desenho quando o ângulo de expansão estrutural definido em RCF1, for igual a 90° . Os eixos de simetria são fixos e situam-se nos segmentos de reta dl e b que delimitam o ângulo de expansão (ver RCF1). Isto significa que a simetria radial vai ser composta por duas simetrias bilaterais, cada uma a operar no seu eixo de simetria, onde a segunda reflexão inclui como referência, todos os elementos resultantes da primeira reflexão.

As retas que definem o perfil auxiliar a “espelhar”, podem apresentar-se com diferentes posicionamentos tipo. Por esta razão, a cada uma destas situações tipo, a gramática fez corresponder uma regra (RCF 41 a RCF53).

_ RCF 41 – Simetria radial de um segmento de reta de linha tracejada.

Um segmento de reta definido por dois pontos da estrutura base e localizado entre os segmentos de reta que definem o ângulo de expansão (dl e b), é um desses casos tipo. O processo de reflexão vai incluir, não só o segmento de reta, como também os pontos que o delimitam. Para evitar que a descrição geométrica do lado A da regra volte a repetir a operação, o segmento de reta base da reflexão muda de cor, passando de rosa azul para rosa. Os novos segmentos de reta resultantes da reflexão vão partilhar da mesma cor (fig. 144 e 145).

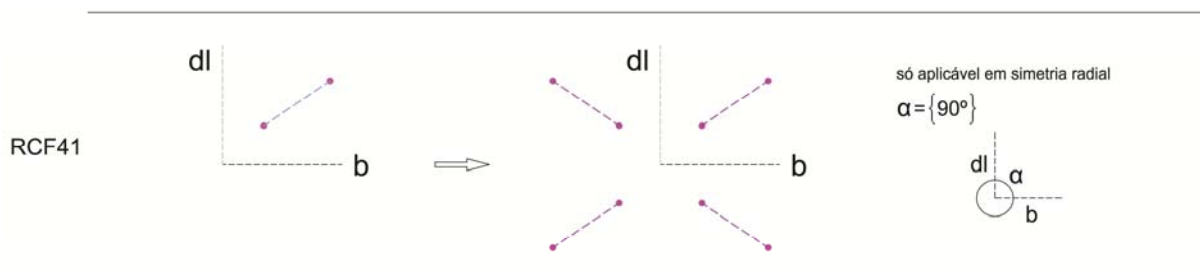


Fig. 144 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF41.

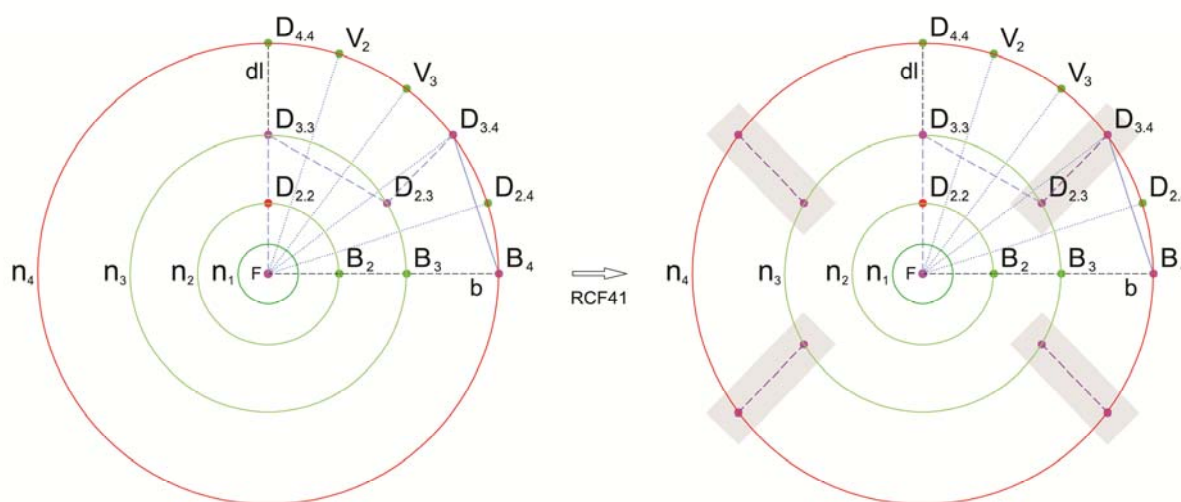


Fig. 145 – Exemplo de aplicação da regra RCF41.
Reflexão do segmento de reta definido pelos pontos $D_{2,3}$ e $D_{3,4}$.

_ RCF 42 – Simetria radial de um segmento de reta de linha tracejada com um ponto sobre o eixo de simetria b .

Um outro posicionamento tipo que os segmentos de reta de linha tracejada podem revelar entre os segmentos de reta que definem o ângulo de expansão, é a localização a um dos pontos que o delimitam sobre o eixo de simetria “ b ”. Nestes casos, o processo de reflexão, mantém coincidentes os pontos que estejam situados no eixo de simetria “ b ” ou no mesmo alinhamento deste. Também aqui, para evitar um contínua repetição da regra, a cor do segmento de reta base da reflexão muda de cor, passando de azul para rosa. Essa mesma cor será também associada aos novos segmentos de reta resultantes da reflexão (fig. 146 e 147).

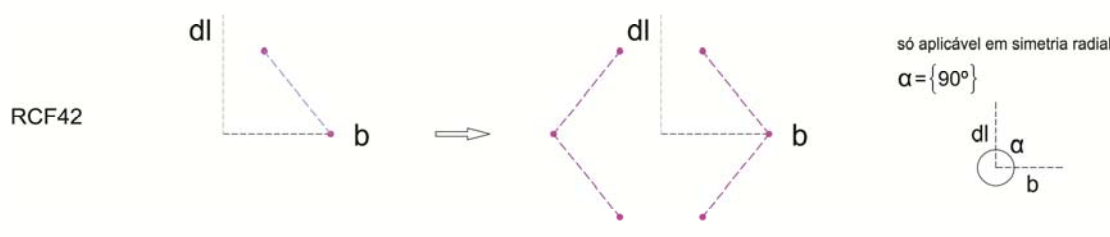


Fig. 146 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF42.

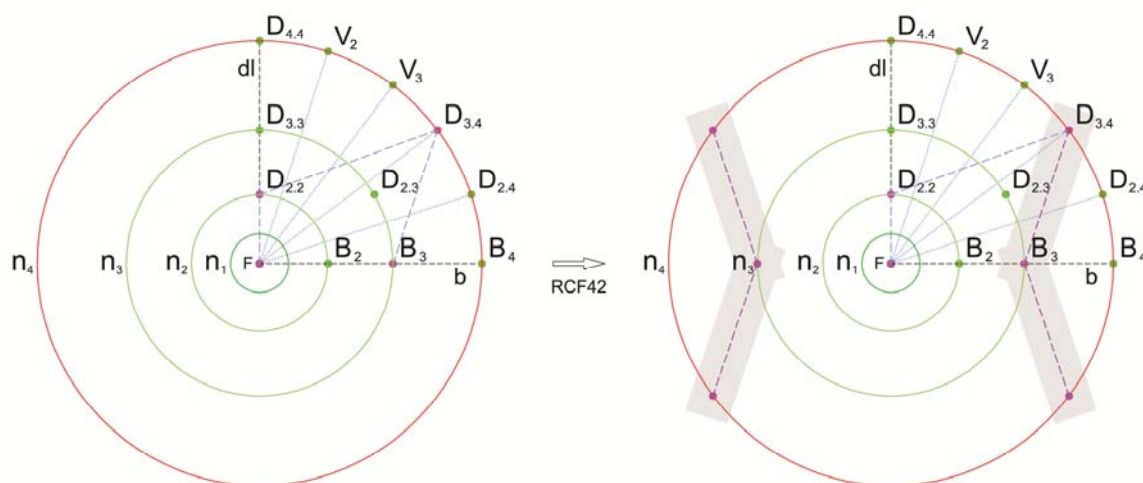


Fig. 147 – Exemplo de aplicação da regra RCF42
 Reflexão do segmento de reta definido pelos pontos $D_{3,4}$ e B_4 .

_ RCF 43 – Simetria radial de um segmento de reta de linha tracejada com um ponto sobre o eixo de simetria dl .

Os segmentos de reta de linha tracejada podem ainda revelar mais um posicionamento tipo, quando um dos pontos que delimita o segmento de reta situa-se sobre o eixo de simetria dl . De um modo equivalente à regra RCF42, o processo de reflexão, mantém coincidentes os pontos que estejam situados no eixo de simetria dl ou no mesmo alinhamento deste. A mudança de cor do segmento de reta base da reflexão, também se revela de grande importância para que a regra não se repita continuamente. Esta cor, também será aplicada nos novos segmentos de reta resultantes do processo de reflexão (fig. 148 e 149).

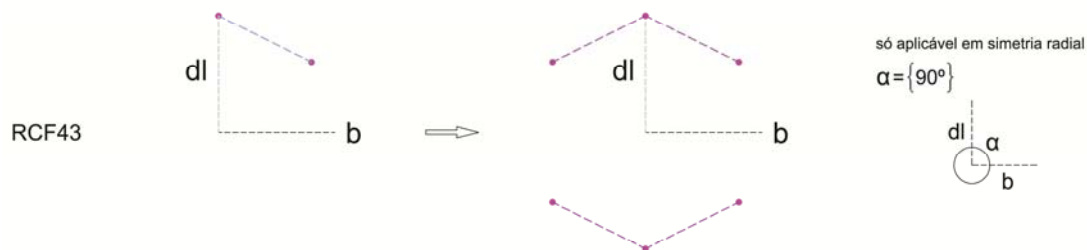
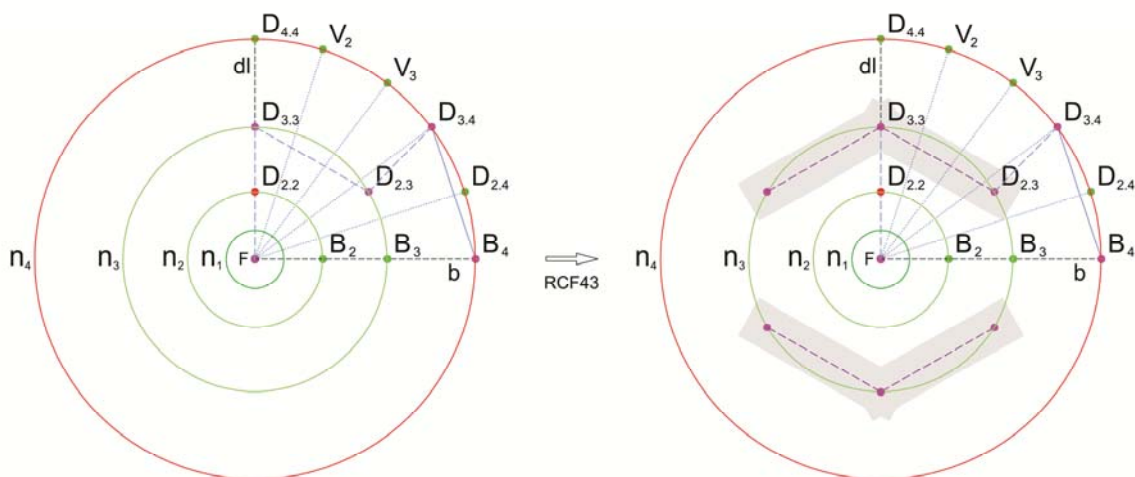


Fig. 148 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF43.

Fig. 149 – Exemplo de aplicação da regra RCF43.
Reflexão do segmento de reta definido pelos pontos $D_{3.3}$ e $D_{2.3}$.

_ RCF 44 – Simetria radial de um segmento de reta de linha contínua.

Os segmentos de reta de linha contínua, também podem surgir na base estrutural, com posicionamentos tipo muito idênticos aos dos segmentos de reta de linha tracejada. Um desses casos, são os segmentos de reta definidos por dois pontos da estrutura base e localizados entre os segmentos de reta que definem o ângulo de expansão (dl e b). O processo de reflexão sobre os dois eixos de simetria (dl e b), vai incluir não só os segmentos de reta, como também os pontos que os delimitam. A mudança de cor do segmento de reta base de reflexão é importante para que a regra não se repita continuamente. Esta cor também é transmitida aos novos segmentos de reta gerados pela aplicação da regra (fig. 150 e 151).

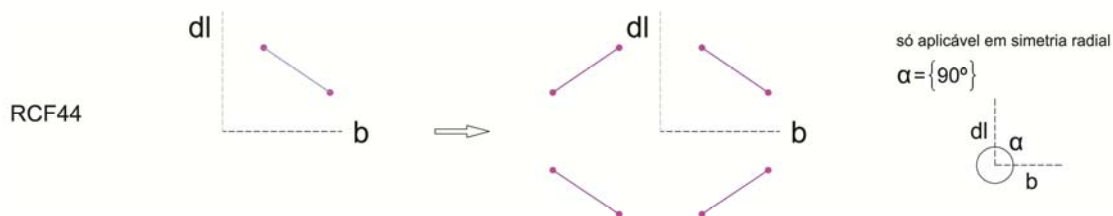


Fig. 150 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF44.

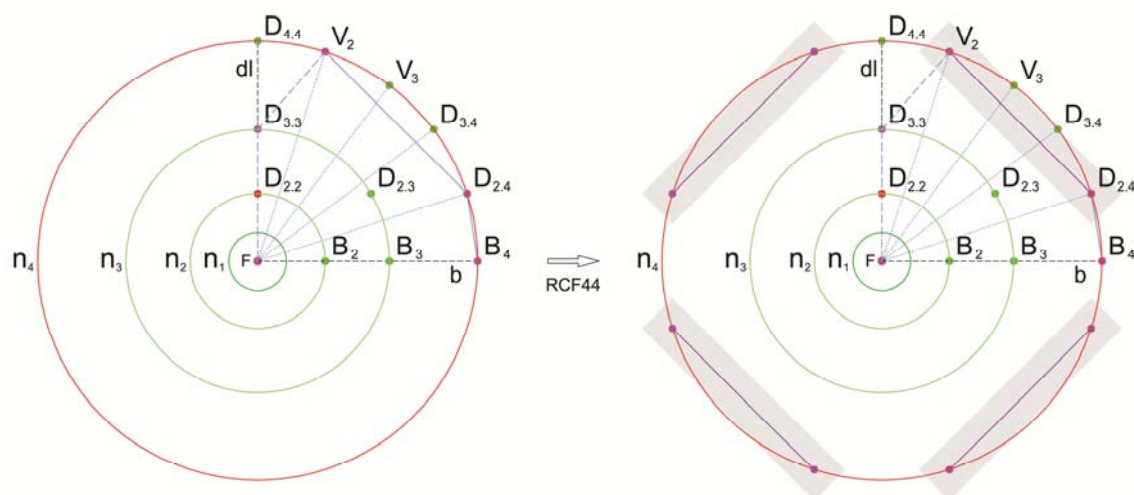


Fig. 151 – Exemplo de aplicação da regra RCF44.
Reflexão do segmento de reta definido pelos pontos V_2 e $D_{2.4}$.

– *RCF 45 – Simetria radial de um segmento de reta de linha contínua com um ponto sobre o eixo de simetria b .*

Um outro posicionamento tipo dos segmento de reta de linha contínua na base estrutural, acontece quando estes surgem definidos com um ponto sobre o segmento de reta b . Nestes casos, o processo de reflexão, mantém coincidentes os pontos que estejam situados no eixo de simetria b ou no mesmo alinhamento deste. Também aqui, para evitar um contínua repetição da regra, a cor do segmento de reta base da reflexão muda de cor, passando de azul para rosa. Essa mesma cor será também associados aos novos segmentos de reta resultantes da reflexão (fig. 152 e 153).

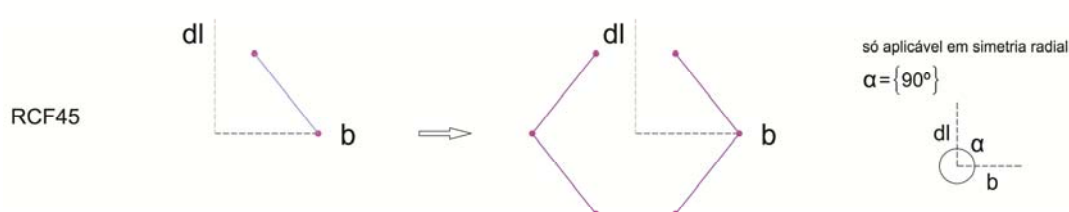


Fig. 152 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF45.

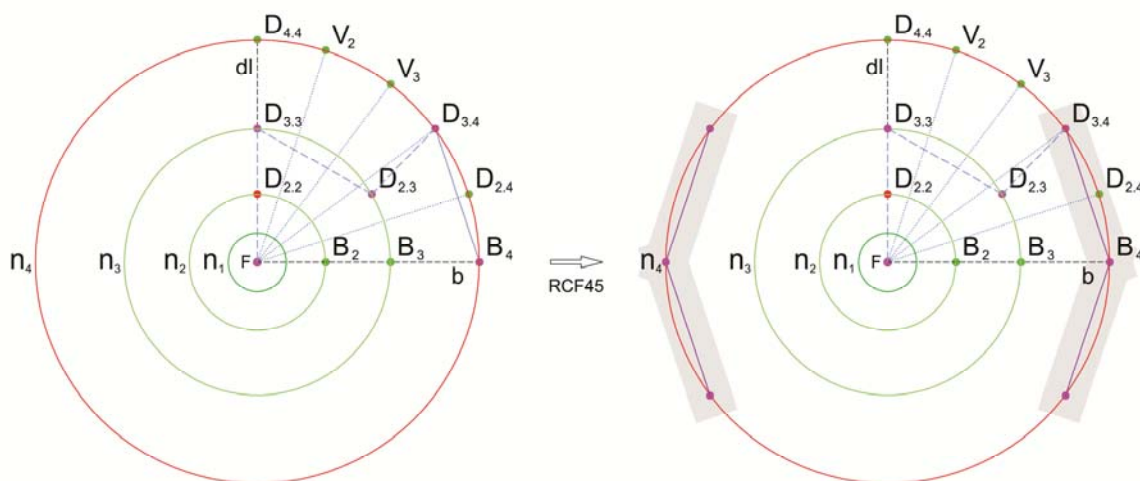


Fig. 153 – Exemplo de aplicação da regra RCF45.
Reflexão do segmento de reta definido pelos pontos $D_{3.4}$ e B_4 .

_ RCF 46 – Simetria radial de um segmento de reta de linha contínua com um ponto sobre o eixo de simetria dl .

Quando os segmentos de reta de linha contínua se posicionam na base estrutural com um ponto sobre o segmento de reta dl , revelam mais um dos seus posicionamentos tipo. Nestes casos, o processo de reflexão, mantém coincidentes os pontos que estejam situados no eixo de simetria dl ou no mesmo alinhamento deste. A mudança de cor do segmento de reta base da reflexão, também se revela de grande importância para que a regra não se repita continuamente. Esta cor, também será aplicada nos novos segmentos de reta resultantes do processo de reflexão (fig. 154 e 155).

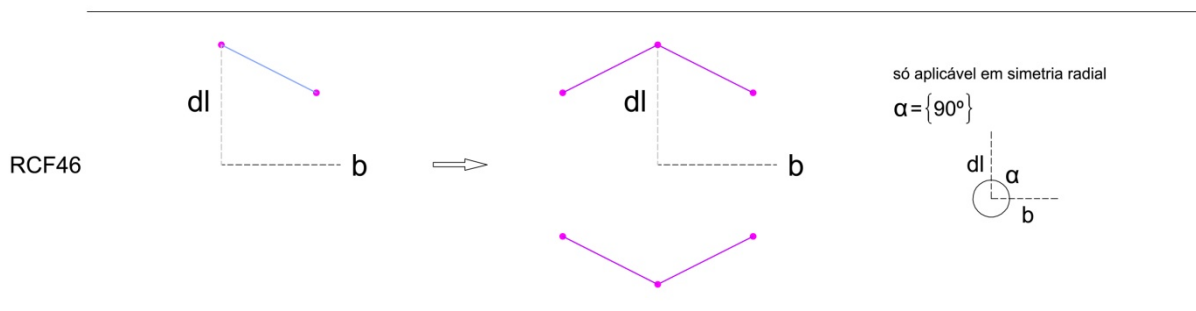


Fig. 154 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF46.

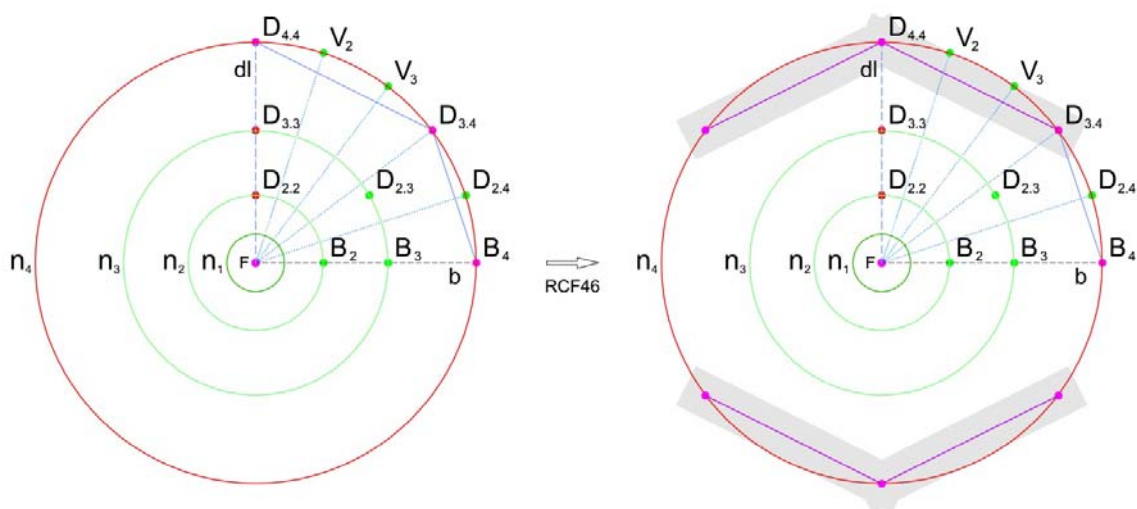


Fig. 155 – Exemplo de aplicação da regra RCF46.
Reflexão do segmento de reta definido pelos pontos $D_{4.4}$ e $D_{3.4}$.

_ RCF 47 – Simetria radial de um segmento de reta de linha contínua com um ponto sobre os eixos de simetria b e dl .

Os segmentos de reta de linha contínua podem ainda surgir na base estrutural com outro posicionamento tipo. Nestes casos, o processo de reflexão, mantém coincidentes os pontos que estejam situados no eixo de simetria dl ou no mesmo alinhamento deste, como também os pontos situados no eixo de simetria b ou no mesmo alinhamento deste. A mudança de cor do segmento de reta base da reflexão de azul para rosa, é importante para que a regra não repita continuamente os mesmos segmentos de reta por sobreposição. Os novos segmentos de reta resultantes do processo de reflexão, também serão definidos com a cor rosa (fig. 156 e 157).

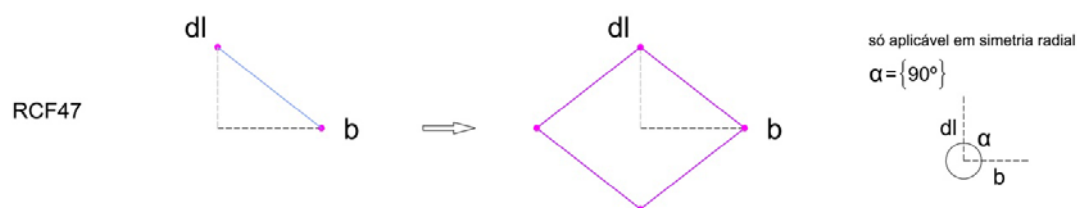
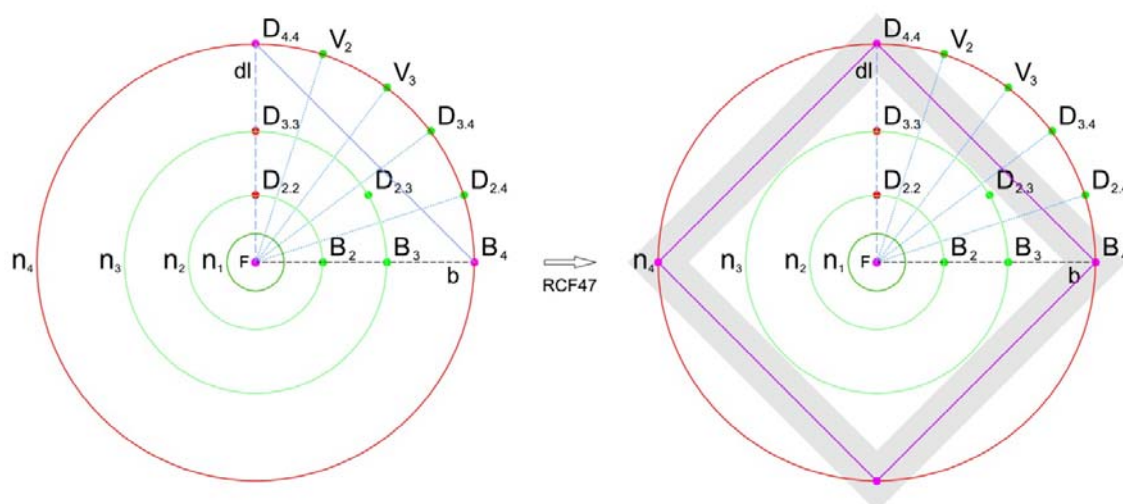


Fig. 156 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF47.

Fig. 157 – Exemplo de aplicação da regra RCF47.
Reflexão do segmento de reta definido pelos pontos $D_{4,4}$ e B_4 .

_ RCF 48 – Exclusão de segmentos de reta de linha tracejada do perfil formal situados sobre o eixo de simetria dl .

Nas composições geométricas com desenvolvimento por simetria radial, os segmentos de reta de linha tracejada situados sobre o segmento de reta dl , são retirados do perfil formal, voltando esse troço a ser representado com as propriedades geométricas iniciais do segmento de reta dl (fig. 158 e 159).

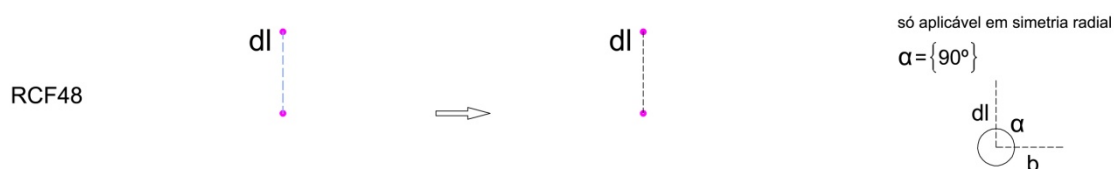


Fig. 158 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF48.

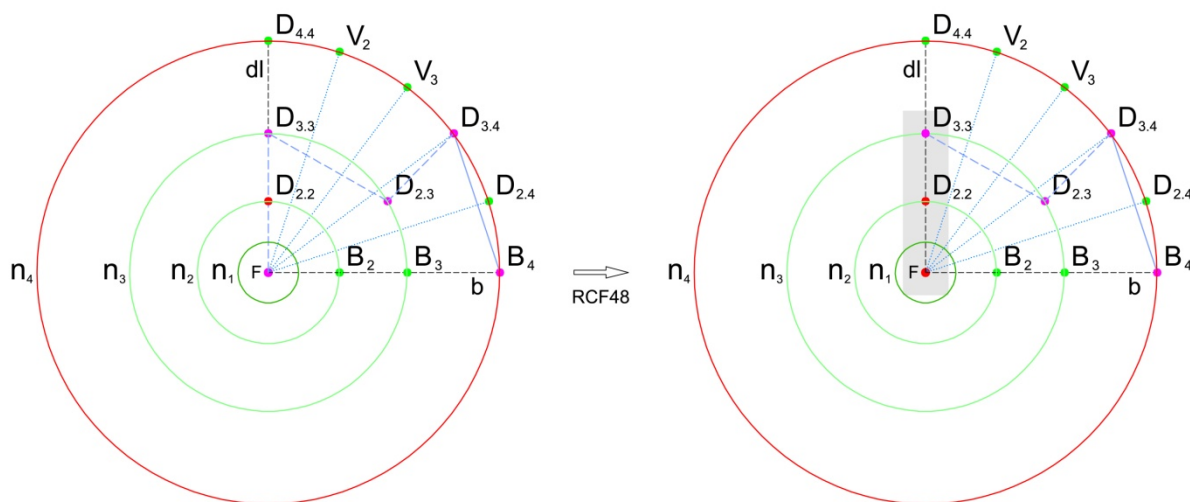


Fig. 159 – Exemplo de aplicação da regra RCF48.

Exclusão do segmento de reta, definido pelo ponto F e $D_{3.3}$ sobre o segmento de reta dl, do perfil formal.

_ *RCF 49 – Simetria radial de segmentos de reta de linha contínua perpendicular ao eixo de simetria b.*

As composições geométricas com simetria radial, também podem revelar alguns casos particulares de reflexão. Um desses casos é a presença de um segmento de reta de linha contínua perpendicular ao eixo de simetria definida pelo segmento de reta b. Este segmento de reta, tem a particularidade de ser definido apenas com um ponto existente na base estrutural. O objectivo é fazer com que após a reflexão, o ponto refletido e a linha referencial da reflexão, sejam interpretadas apenas como um segmento de reta definido por dois pontos da base estrutural. No entanto, para que esta regra seja aplicada, é necessário que este segmento de reta tenha uma dimensão entre o dobro e a metade da dimensão do segmento de reta que lhe antecede em continuidade no perfil auxiliar.

Para que a regra não se repita continuamente, a cor do segmento de reta referencial muda, passando de azul para rosa. Os novos segmentos de reta resultantes da reflexão, vão também ser definidos com a mesma cor (fig. 160 e 161).

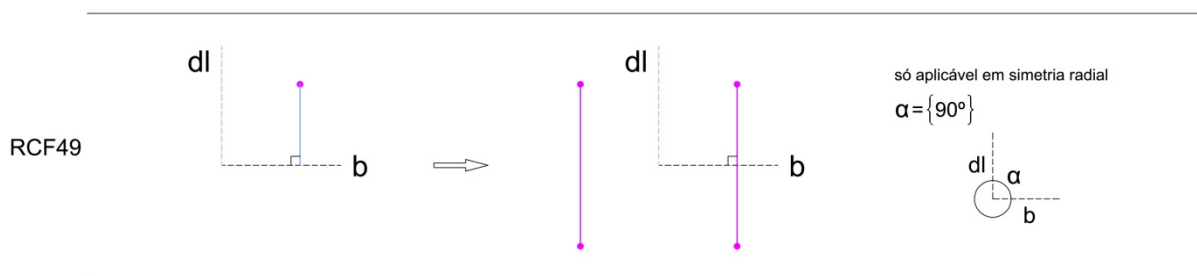


Fig. 160 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF49.

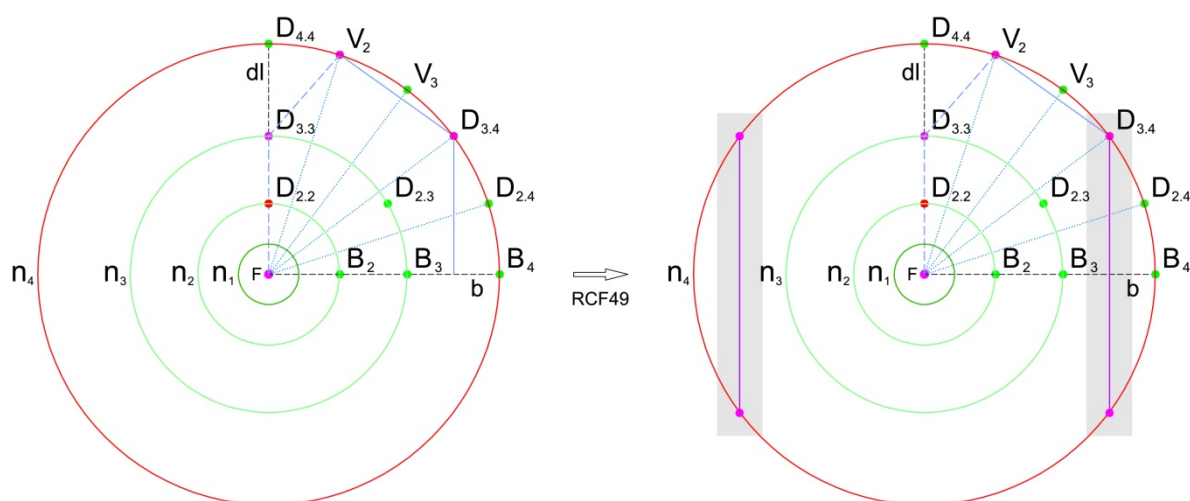


Fig. 161 – Exemplo de aplicação da regra RCF49.

Geração de dois segmentos de reta a partir da reflexão do segmento de reta referencial. A dimensão do segmento de reta gerado situa-se dentro do intervalo de valores definidos como harmônicos $[1/4;4]$, face ao segmento de reta que o antecede em continuidade no perfil auxiliar.

— RCF 50 – Simetria radial de segmentos de reta de linha contínua perpendicular ao eixo de simetria dl .

No seguimento da regra RCF49, outro caso particular é a presença de um segmento de reta perpendicular ao segmento de reta dl , sendo este também definido apenas por um ponto da base estrutural. Também neste caso, o objectivo é fazer com que após a reflexão, a linha refletida e a linha referencial da reflexão, sejam interpretadas apenas como um segmento de reta definido por dois pontos da base estrutural. É também necessário que este segmento de reta tenha uma dimensão entre o dobro e a metade da dimensão do segmento de reta que lhe antecede em continuidade no perfil auxiliar. Se tal não se verificar, a regra não pode ser aplicada. Para impedir que a regra se repita continuamente e gere inúmeros segmentos de reta por sobreposição, a cor do segmento de reta referencial passa de azul para rosa, após a reflexão. Os novos segmentos de reta gerados mediante a aplicação da regra também são definidos na mesma cor (fig. 162 e 163).

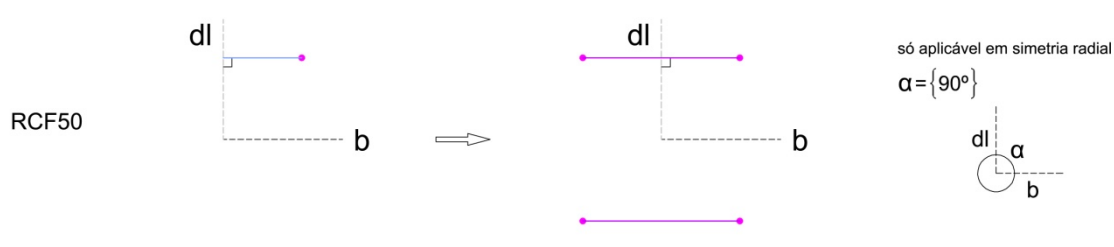


Fig. 162 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF50.

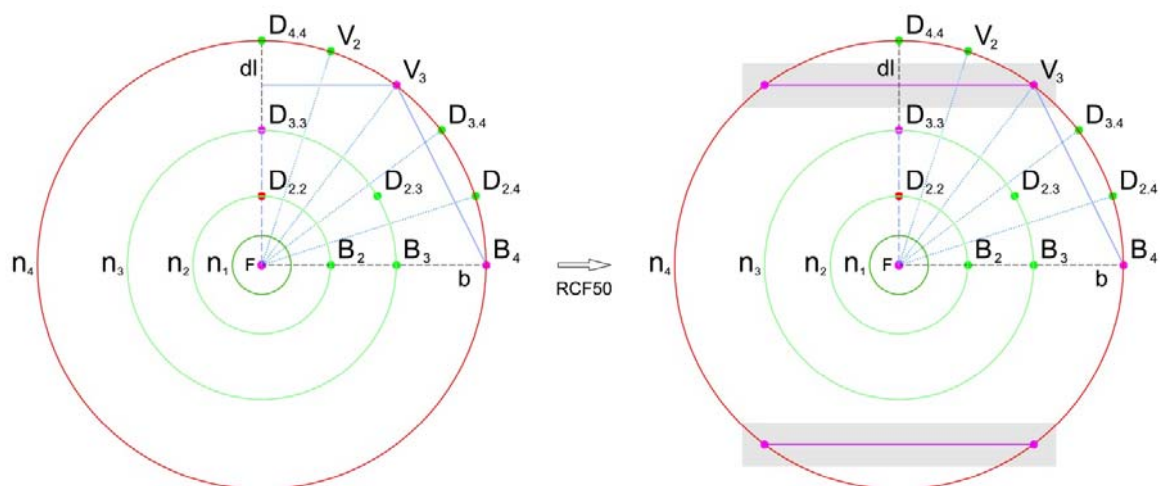


Fig. 163 – Exemplo de aplicação da regra RCF50.

Geração de dois segmentos de reta a partir da reflexão do segmento de reta referencial. A dimensão do segmento de reta gerado situa-se dentro do intervalo de valores definidos como harmônicos $[1/4;4]$, face ao segmento de reta que o antecede em continuidade no perfil auxiliar.

_ RCF 51 – Simetria radial das linhas de foco.

As linhas de foco também devem ser refletidas na base estrutural por serem elementos importantes na definição de arcos compostos (ver RCF57 e RCF58). A aplicação da regra, muda a cor à linha de foco referencial, de modo a evitar, que a descrição geométrica do lado A da regra continue a gerar linhas de foco por sobreposição. As novas linhas de foco geradas mediante a aplicação da regra, também irão adotar a cor da linha de foco referencial (fig. 164 e 165).

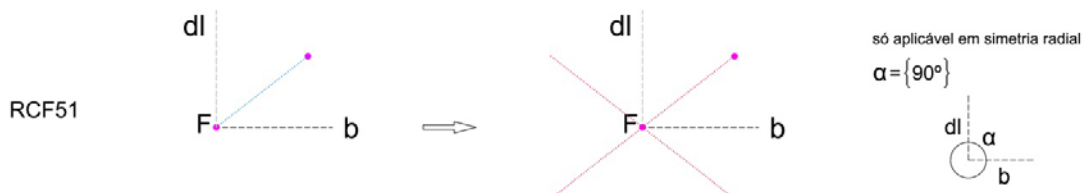


Fig. 164 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF51.

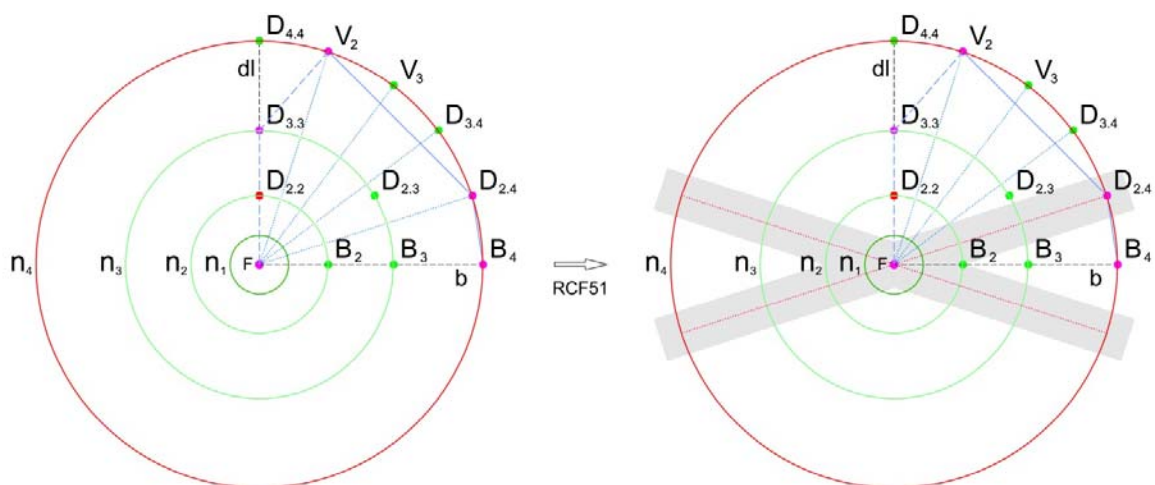


Fig. 165 – Exemplo de aplicação da regra RCF51.
Reflexão radial da linha de foco definida pelos pontos F e $D_{2.4}$.

– RCF 52 – Definição da linha de foco referenciada no segmento de reta b .

Nas composições geométricas de simetria radial, existe um segmento de reta que não sendo representado como linha de foco, também desempenha funções idênticas na base estrutural. As linhas de foco, unem o ponto F a todos os pontos situados sobre o último nível de expansão. Então, quando o termino do perfil auxiliar coincide no ponto de intersecção do último nível de expansão com o segmento de reta b , este adquire propriedades de linha de foco. Portanto, deve contemplar-se a sua reflexão sobre as propriedades geométricas de uma linha de foco. Para evitar que a regra continue a gerar por sobreposição outras linhas de foco, estipula-se que esta regra só poderá ser aplicada uma vez sobre os mesmos pontos referenciais (fig. 166 e 167).

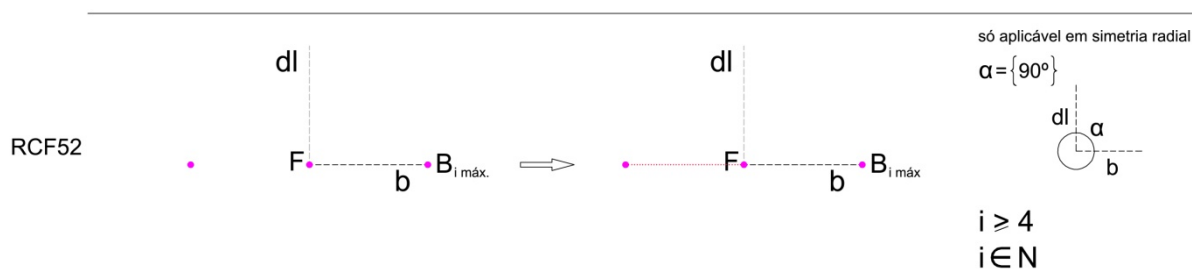


Fig. 166 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF52.

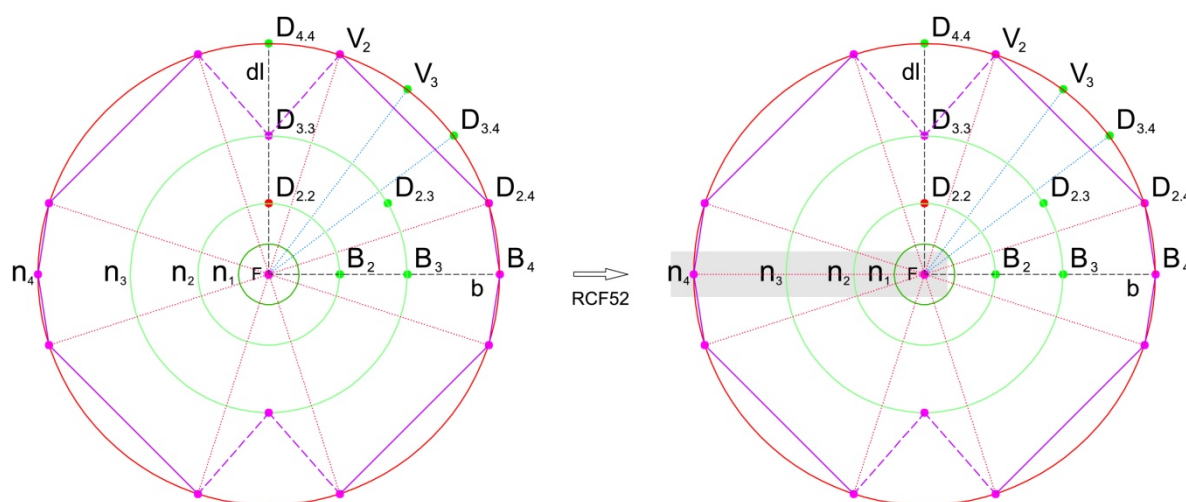


Fig. 167 – Exemplo de aplicação da regra RCF52.

Reflexão do segmento de reta b , definido pelos pontos F e B_4 , num outro segmento de reta com propriedades geométricas de uma linha de foco.

– RCF 53 – Definição da linha de foco referenciado no segmento de reta dl .

Numa situação em tudo idêntica à descrita na regra RCF52, surge o caso dos pontos definidos na intersecção do último nível de expansão com o segmento de reta dl . Nestes casos, o segmento de reta em questão, também assume propriedades de linha de foco. Portanto, a reflexão do mesmo mediante uma simetria radial, deve-se refletir-se na geração de um outro segmento de reta sobre as propriedades geométricas das linhas de foco. Para evitar que a regra continue a gerar por sobreposição outras linhas de foco, estipula-se que esta regra só poderá ser aplicada uma vez sobre os mesmos pontos referenciais (fig. 168 e 169).

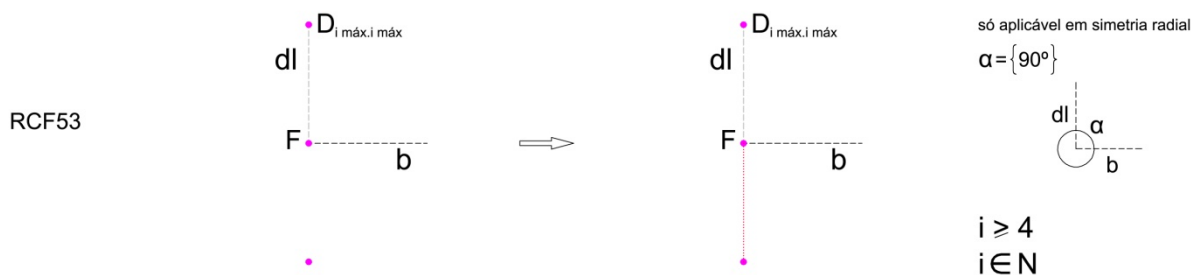


Fig. 168 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF53.

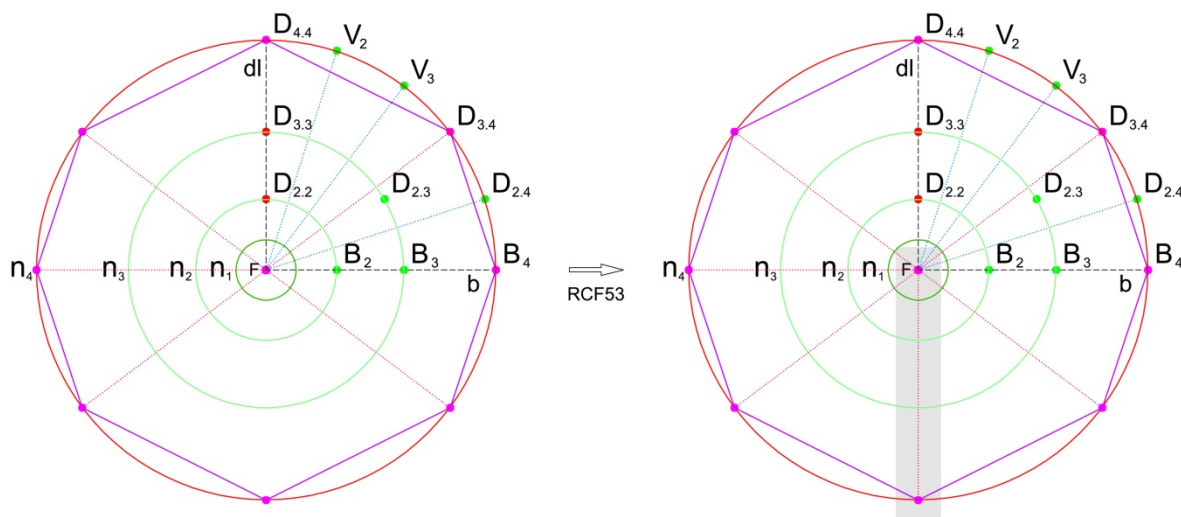


Fig. 169 – Exemplo de aplicação da regra RCF53.

Reflexão do segmento de reta dl , definido pelos pontos F e $D_{4.4}$, num outro segmento de reta com propriedades geométricas de uma linha de foco.

2.6 Definição das guias de contorno formal

Com base nos segmentos de reta que constituem o perfil auxiliar, vão ser definidas as linhas guias de controlo formal. Estas linhas serão definidas por meio de arcos regulares ou arcos compostos, com o intuito de inserir propriedades geométricas concavas e convexas à forma. Serão também elas que definirão o desenho da forma que será gerada mediante a aplicação das regras locais.

_ RCF 54 – Definição do arco da guia de controlo formal nos segmentos de reta de linha tracejada do perfil auxiliar.

A cada segmento de reta do perfil auxiliar de linha tracejada roxa deve ser associado um arco. A altura do arco deve revelar os valores proporcionais definidos na regra e deve ter como ponto de referência, o ponto médio do segmento de reta no qual o arco vai ficar associado. Para que a regra não se aplique continuamente na descrição geométrica do lado A da regra com outros arcos de diferentes alturas, o segmento de reta muda de cor, passando de rosa para azul (fig. 170, 171 e 172).



Fig. 170 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF54.

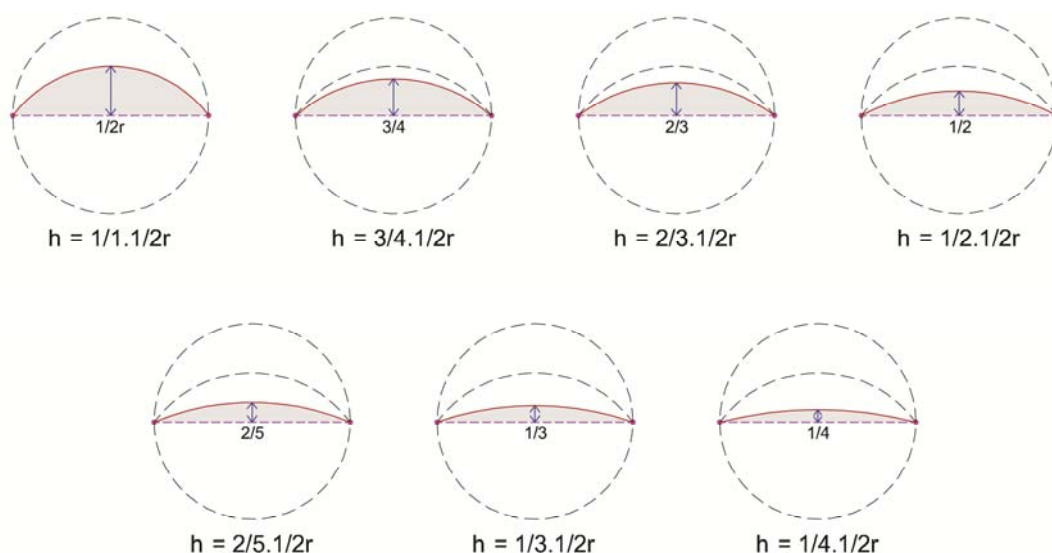


Fig. 171 – Representação geométrica das diferentes hipóteses de altura para um arco.

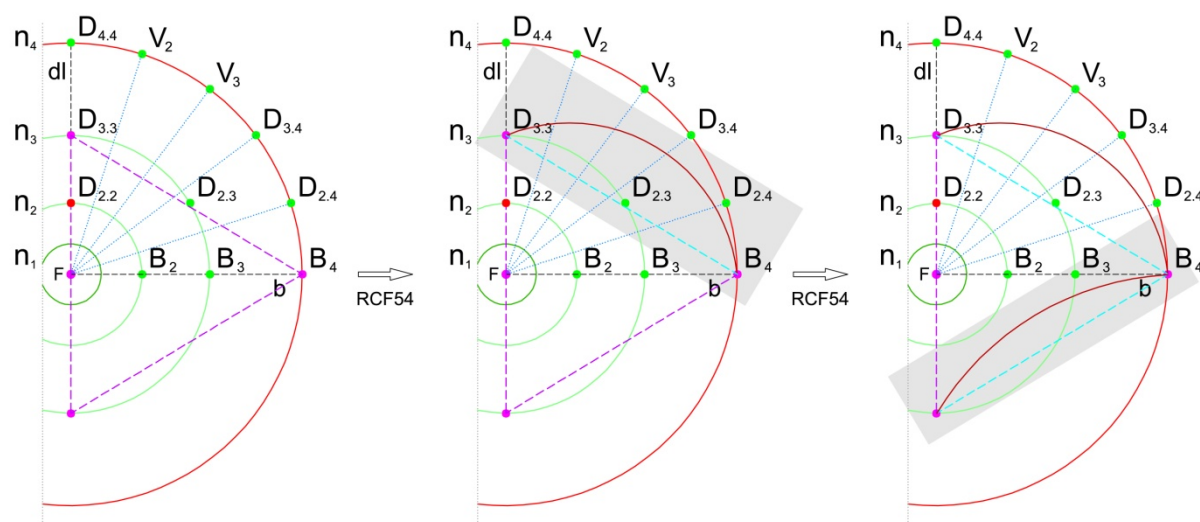


Fig. 172 – Exemplo de aplicação da regra RCF54.

– *RCF 55 – Definição do arco da guia de controlo formal nos segmentos de reta de linha contínua do perfil auxiliar.*

Os segmentos de reta de linha contínua que pertencem ao perfil auxiliar já contém um arco, pois estes estão sempre delimitados por pontos que estão situados no último nível de expansão. Contudo, esse arco não tem que ser obrigatoriamente definido como uma linha guia de controlo formal. O segmento de reta pode gerar um outro arco, no lado oposto ao arco pertencente ao último nível de expansão, tendo a altura do mesmo que verificar os valores proporcionais descritos na regra. Para evitar que o mesmo segmento seja a base referencial de outros arcos com diversas dimensões,

o segmento de reta de linha contínua onde se referencia o arco, muda de cor, passando de rosa para azul (fig. 173 e 174).

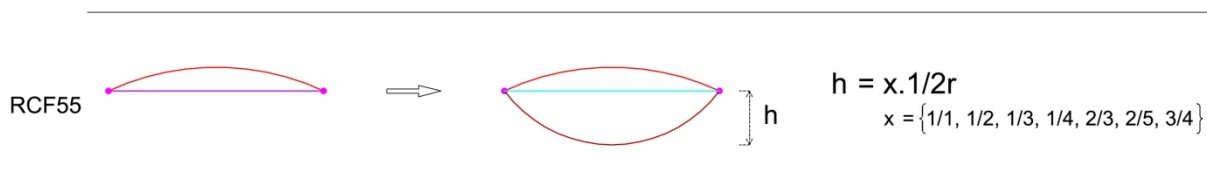


Fig. 173 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF55.

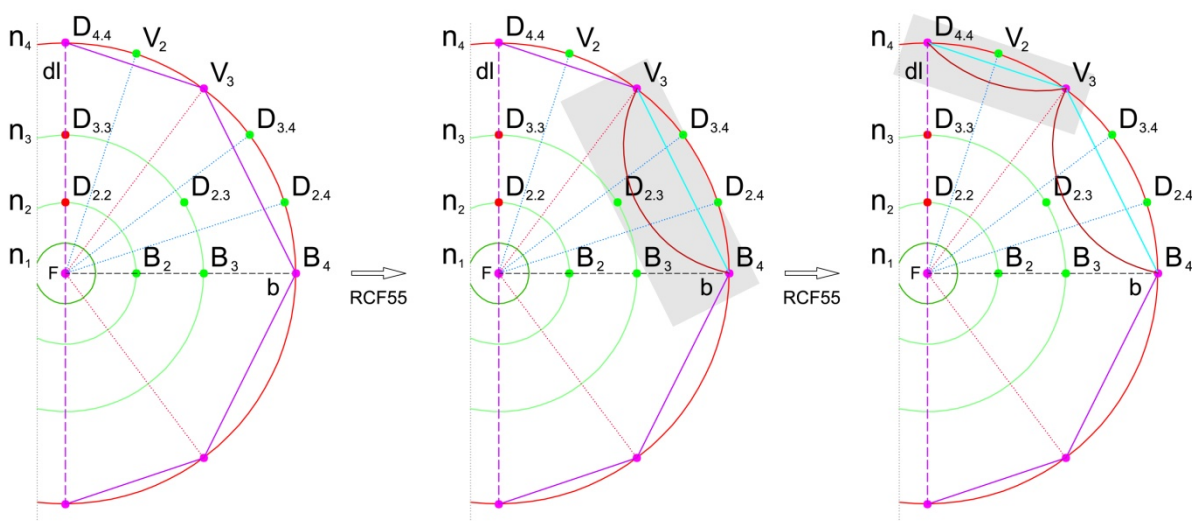


Fig. 174 – Exemplo de aplicação da regra RCF55.

Geração de dois arcos, o primeiro com uma altura de $1/1.1/2r$ e o segundo com $1/2.1/2r$.

_ RCF 55A – Definição do arco da guia de controlo formal no sentido do arco do último nível de expansão, quando situado nos segmentos de reta de linha contínua do perfil auxiliar.

Na sequência da regra anterior, existe uma hipótese de geração de arcos nas linhas contínuas do perfil auxiliar, no sentido do arco do último nível de expansão. Esta situação só é possível de ser realizada, se a altura do arco for do nível de expansão delimitado pelo segmento de reta do perfil auxiliar for igual a $1/1.1/2r$. Caso contrário terá que se proceder à aplicação das regras RCF55 e RCF56. Para evitar que o mesmo segmento seja a base referencial de outros arcos com diversas dimensões, o segmento de reta de linha contínua onde se referencia o arco, muda de cor, passando de rosa para azul (fig. 175 e 176).

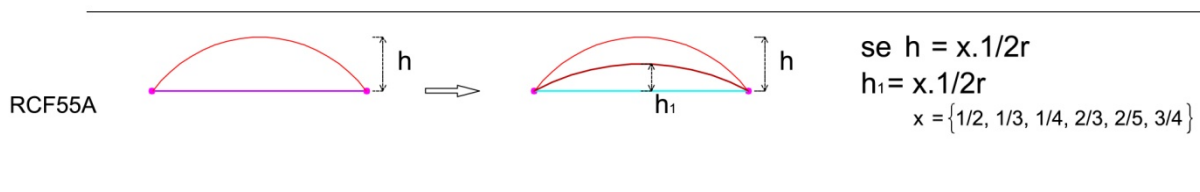


Fig. 175 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF55A.

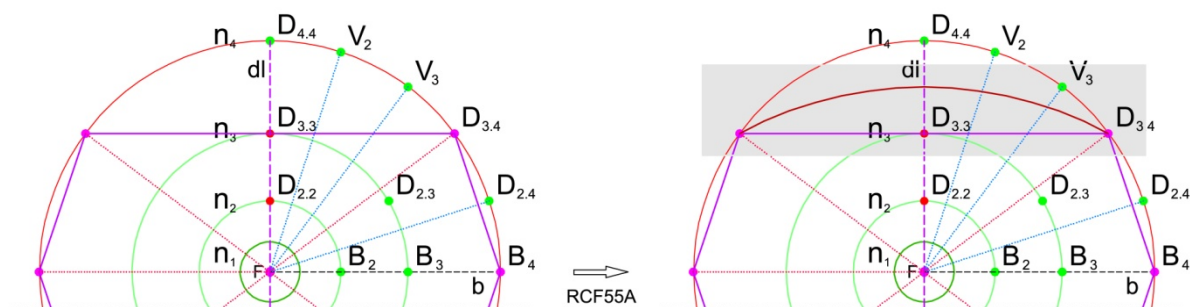


Fig. 176 – Exemplo de aplicação da regra RCF55A.
Geração de um arco com uma altura de $1/1.1/2r$.

_ RCF 56 – Definição do arco da guia de controlo formal coincidente com parte do perímetro da circunferência do último nível de expansão.

Os segmentos de reta de linha contínua rosa, delimitados por dois pontos assentes no último nível de expansão, já detêm um arco, que corresponde a parte do perímetro do arco de circunferência do último nível de expansão. Nestes casos, essa parte do perímetro pode passar a ser um arco da guia de controlo formal, apenas mudando a sua cor. Também o segmento de reta de linha contínua onde se referencia o arco, muda de cor, passando de rosa para azul (fig. 177 e 178).

RCF56



Fig. 177 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF56.

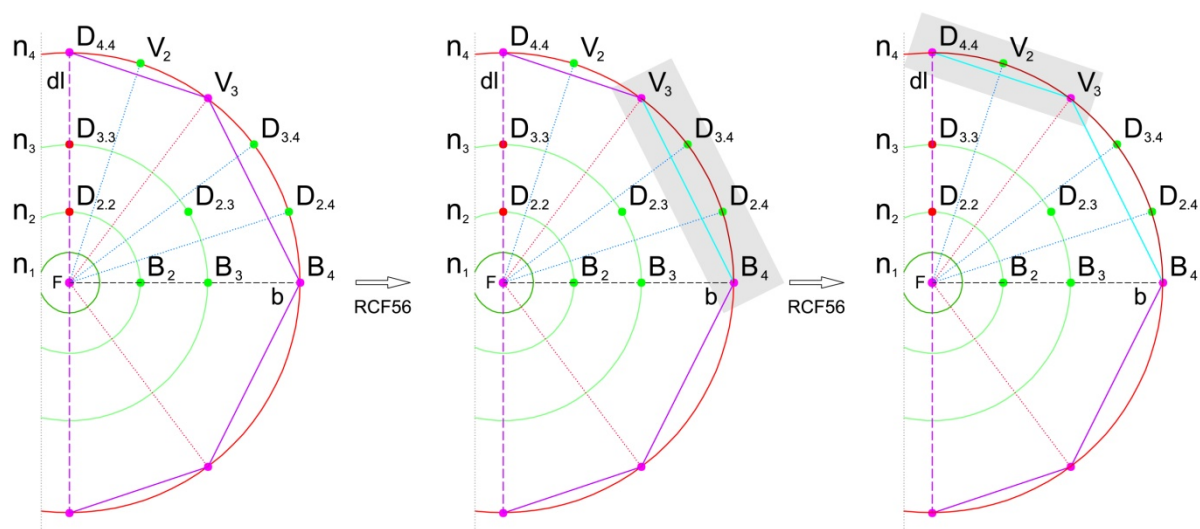


Fig. 178 – Exemplo de aplicação da regra RCF56.
Geração de dois arcos sobre o perímetro do último nível de expansão (n_4).

_ RCF 57 – Definição de guia de controlo formal com arcos compostos nos segmentos de reta de linha contínua do perfil auxiliar, delimitados por uma linha de foco e o segmento de reta b ou dl .

Os segmentos de reta de linha contínua definidos por dois pontos pertencentes ao último nível de expansão podem também ser a base referencial de um outro tipo de arcos, o arco composto. Este arco é definido por três arcos regulares e tem como finalidade gerar penetrações mais profundas na composição geométrica que aquelas que são possíveis alcançar com os arcos regulares. Mas este tipo de arco só pode ser aplicado se o ângulo entre o segmento de reta dl ou b e o segmento de reta de uma linha de foco estiver compreendido entre os 15° e os 90° , inclusive.

Os arcos compostos podem ser gerados utilizando um ou mais níveis de expansão, mas com a condicionante de não poderem ser usados mais de 3/4 dos níveis de expansão. Ou seja, uma base estrutural definida com seis níveis de expansão, só pode gerar arcos compostos utilizando no máximo 4 níveis de expansão, ou seja, o equivalente a três intervalos de expansão. Independentemente do número de níveis de expansão que possam ser usados, a contabilização dos mesmos é feita de um modo contínuo e sempre a partir do último nível de expansão (fig. 179, 180 e 182).

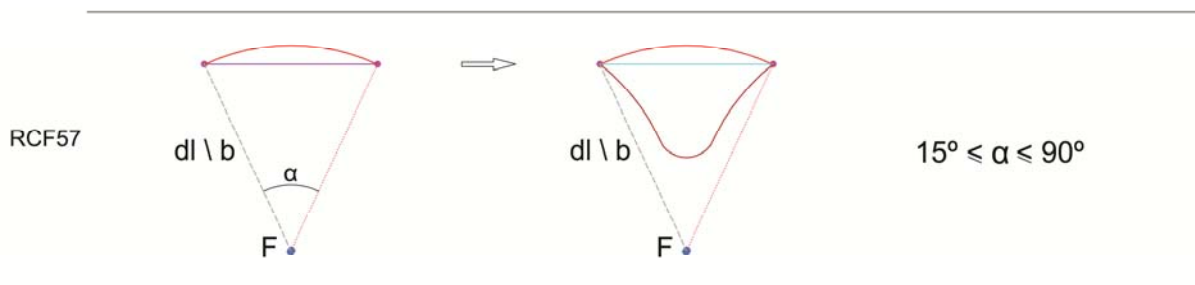


Fig. 179 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF57.

- Exemplo da geração de um arco composto num intervalo de expansão (fig. 180).

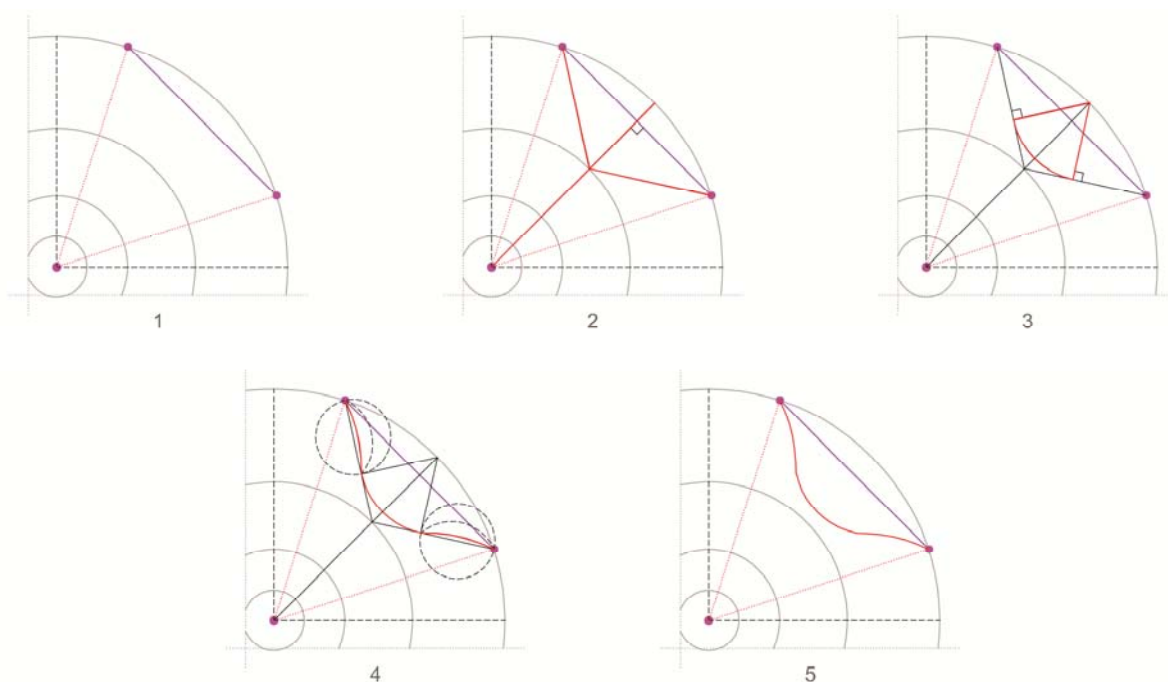


Fig. 180 – Definição de um arco composto num intervalo de expansão.

1 – As linhas de foco que unem os pontos que delimitam o segmento de reta referencial do arco ao ponto F, têm entre si um ângulo de 54° . A amplitude do ângulo permite a geração de um arco composto.

2 – A partir do ponto F, é lançado um segmento de reta perpendicular ao segmento de reta referencial do arco, ficando este delimitado pelo ponto F e pelo último nível de expansão. Do ponto em que este segmento de reta interseja o penúltimo nível de expansão, são lançados dois segmentos de reta que farão a união entre esse ponto e os pontos que delimitam o segmento de reta referencial do arco.

3 – A partir do ponto em que o segmento de reta perpendicular ao segmento de reta referencial do arco interseja o último nível de expansão, são lançadas duas linhas perpendiculares aos segmentos de reta delimitados pelos pontos do segmento de reta referencial do arco e o ponto de intersecção com o penúltimo nível de expansão. Entre essas duas linhas será definido um arco de circunferência.

4 – Na parte do segmento de reta que une o ponto de intersecção do penúltimo nível de expansão e os pontos de delimitam o segmento de reta referencial do arco que não tem nenhum arco associado, será gerado um arco regular com uma altura de $1/4 \cdot 1/2r$ (ver regra RCF54).

5 – Retiram-se todos os segmentos de reta auxiliares à contrução do arco composto, ficando só o arco definido e o segmento de reta associado ao mesmo.

- Exemplo da geração de um arco composto em dois intervalos de expansão (fig. 181).

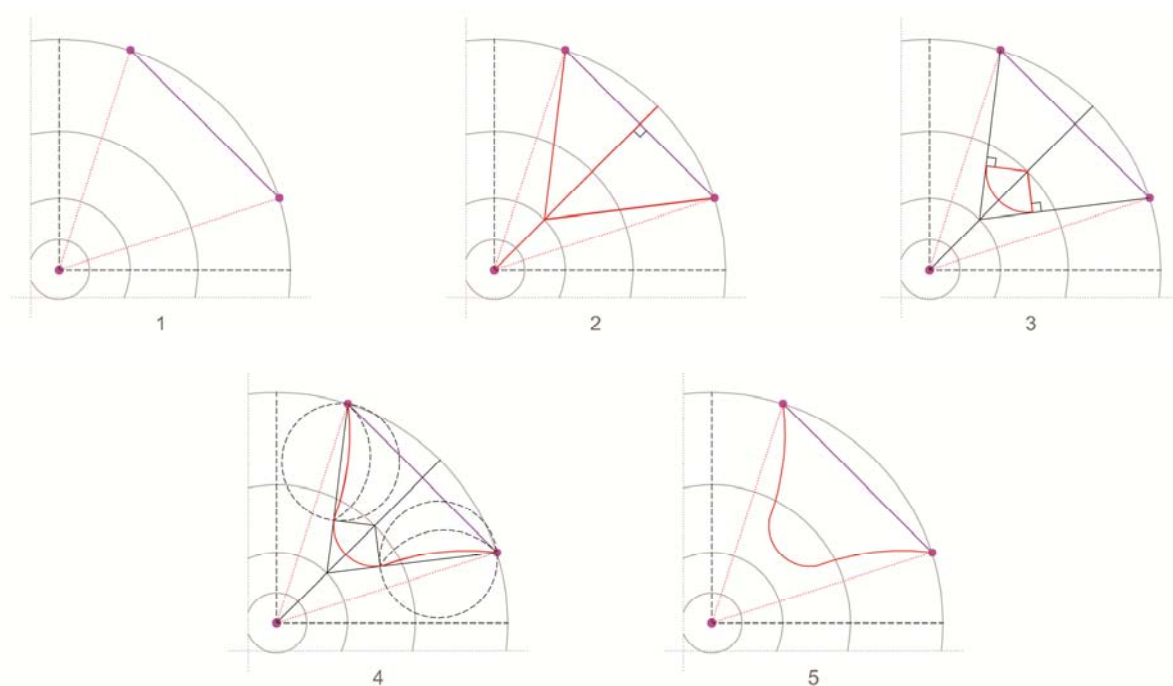


Fig. 181 – Definição de um arco composto em dois intervalos de expansão

1 – As linhas de foco que unem os pontos que delimitam o segmento de reta referencial do arco ao ponto F, têm entre si um ângulo de 54° . A amplitude do ângulo permite a geração de um arco composto.

2 – A partir do ponto F, é lançado um segmento de reta perpendicular ao segmento de reta referencial do arco, ficando este delimitado pelo ponto F e pelo último nível de expansão. Do ponto

em que este segmento de reta intersecta o antepenúltimo nível de expansão, são lançados dois segmentos de reta que farão a união entre esses pontos e os pontos que delimitam o segmento de reta referencial do arco.

3 – A partir do ponto em que o segmento de reta perpendicular ao segmento de reta referencial do arco intersecta o penúltimo nível de expansão, são lançadas duas linhas perpendiculares aos segmentos de reta delimitados pelos pontos do segmento de reta referencial do arco e o ponto de intersecção com o antepenúltimo nível de expansão. Entre essas duas linhas será definido um arco de circunferência.

4 – Na parte do segmento de reta que une o ponto de intersecção do antepenúltimo nível de expansão e os pontos que delimitam o segmento de reta referencial do arco que não tem nenhum arco associado, será gerado um arco regular com uma altura de $1/4.1/2r$ (ver regra RCF54).

5 – Retiram-se todos os segmentos de reta auxiliares à construção do arco composto, ficando só o arco definido e o segmento de reta associado ao mesmo.

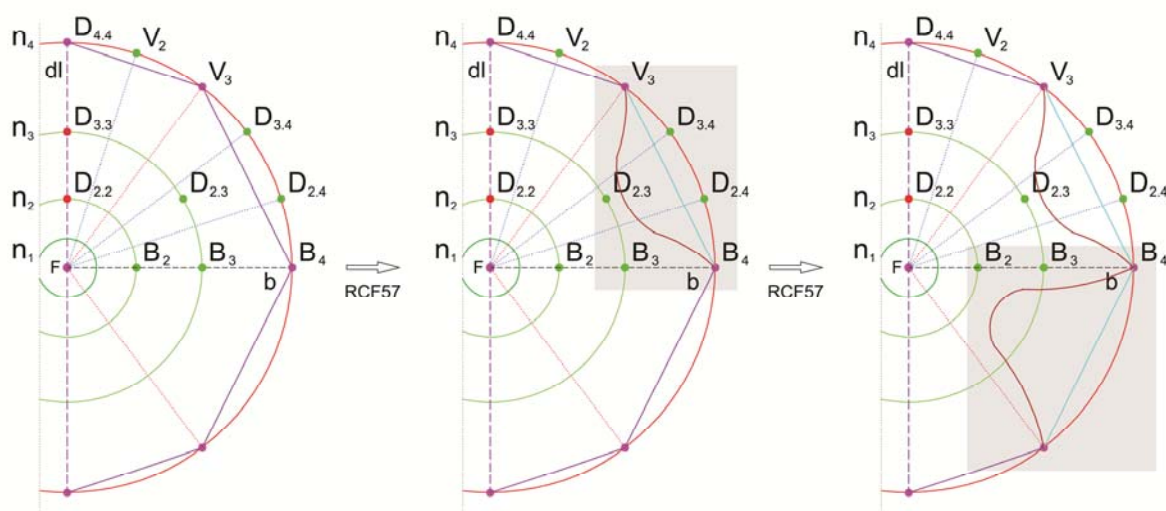


Fig. 182 – Exemplo de aplicação da regra RCF57.

Geração de um arco composto num intervalo de expansão (fig. central) e geração de um arco composto em dois intervalos de expansão (fig. dir.).

– *RCF 58 – Definição de guia de controlo formal com arcos compostos nos segmentos de reta de linha contínua do perfil auxiliar, delimitados por duas linhas de foco.*

Os arcos compostos também podem ser definidos em segmentos de reta cujas linhas de foco que unem os pontos que o delimitam, ao ponto F, definam também, um ângulo compreendido entre os 15° e os 90° . O processo de geração dos arcos será em tudo idêntico ao descrito na regra RCF57 (fig. 183 e 184).

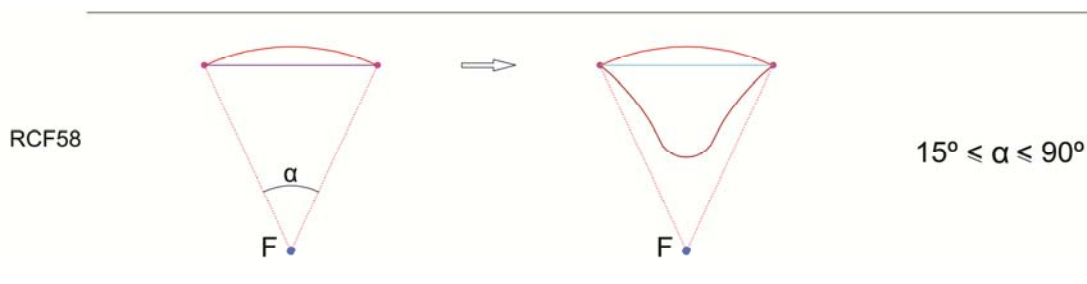


Fig. 183 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF58.

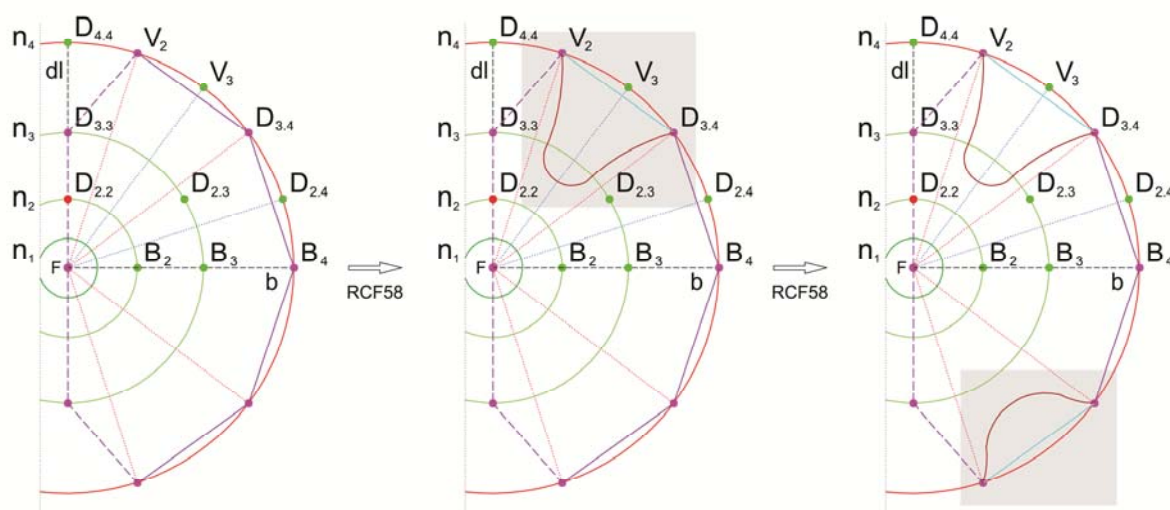


Fig. 184 – Exemplo de aplicação da regra RCF58.

Geração de um arco composto em dois intervalos de expansão (fig. central) e geração de um arco composto num intervalo de expansão (fig. dir.).

2.7 Correção da sobreposição entre guias de controlo formal

A introdução das guias de controlo formal individualmente em cada segmento de reta do perfil auxiliar, pode resultar em sobreposição de arcos, o que significaria que iria existir uma interrupção na forma. Para evitar este tipo de interrupção formal, a sobreposição dos arcos tem que ser desfeita. A sobreposição pode ocorrer em várias situações distintas. As regras que se seguem, identificam essas situações e apresentam uma ou mais soluções para a sua resolução.

– RCF 59 – Sobreposição de arcos definidos em segmentos de reta não contínuos e de linha tracejada – redução da altura do arco definido no segmento de reta de menor dimensão.

Uma das possíveis intersecções de arcos pode ocorrer, quando estes estão associados a segmentos de reta de linha tracejada não contínuos. Uma das maneiras de solucionar a sobreposição, passa pela redução da altura do arco do segmento de reta de menor dimensão. No entanto, esta regra só pode ser aplicada se altura do arco ainda não tiver atingido a dimensão mínima ($1/4.1/2r$). Se tal se verificar, a solução não passa pela aplicação desta regra, mas sim por uma das soluções descritas nas regras seguintes (RCF60, RCF61, RCF62 e RCF63) (fig. 185 e 186).

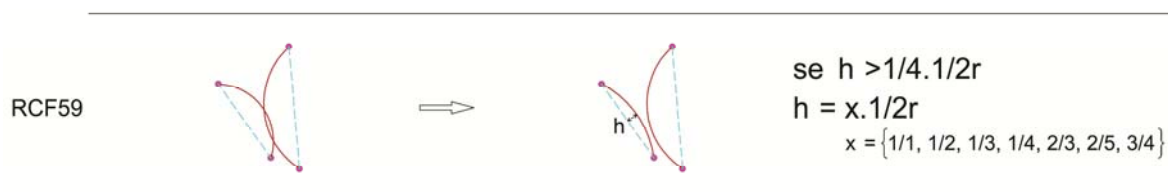


Fig. 185 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF59.

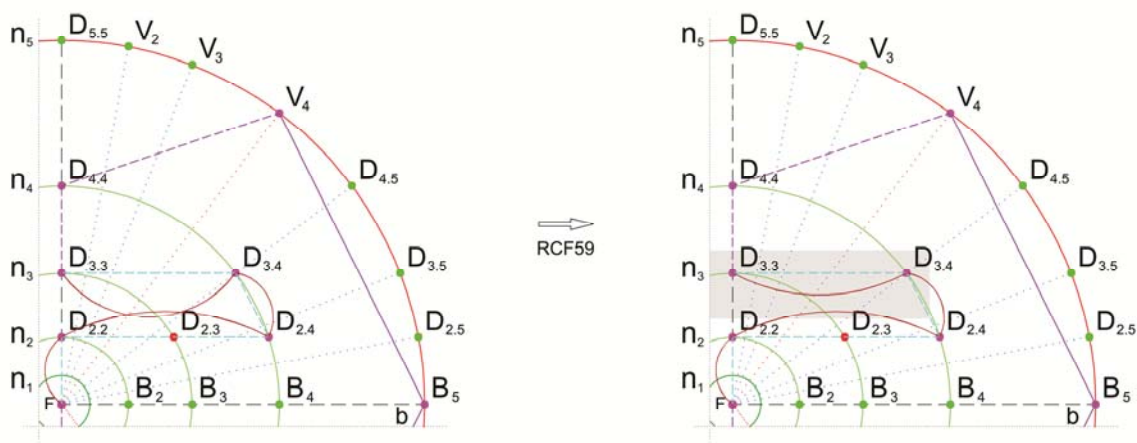


Fig. 186 – Exemplo de aplicação da regra RCF59.
Aplicação da regra mudando a altura do arco de $1/1.1/2.r$ para $1/2.1/2r$

_ RCF 60 – Sobreposição de arcos definidos em segmentos de reta não contínuos e de linha tracejada _ redução da altura do arco definido no segmento de reta de maior dimensão.

Para a mesma situação da regra anterior (RCF59), a sobreposição dos arcos, pode também ser feita reduzindo a altura do arco do segmento de reta de maior dimensão. Também como referido na regra RCF59), esta regra só pode ser aplicada se a altura do arco ainda não tiver atingido a dimensão mínima ($1/4.1/2r$). Se tal se verificar, a solução não passa pela aplicação desta regra, mas sim, por uma das soluções descritas nas regras deste tipo de sobreposição (RCF59, RF61, RCF62 e RCF63) (fig. 187 e 188).

RCF60

se $h > 1/4.1/2r$ $h = x.1/2r$ $x = \{1/1, 1/2, 1/3, 1/4, 2/3, 2/5, 3/4\}$

Fig. 187 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF60.

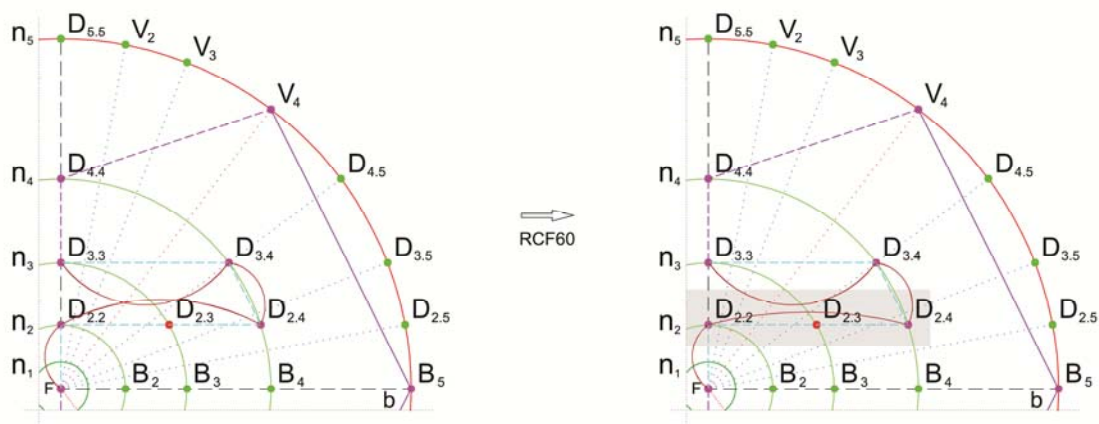


Fig. 188 – Exemplo de aplicação da regra RCF60.
Aplicação da regra mudando a altura do arco de $1/1.1/2.r$ para $1/2.1/2r$.

_ RCF 61 – Sobreposição de arcos definidos em segmentos de reta não contínuos e de linha tracejada _ reflexão do arco definido no segmento de reta de maior dimensão.

O mesmo caso tipo de sobreposição de arcos já mencionado nas regras RCF59 e RCF60, pode também ser solucionado através da reflexão do arco do segmento de reta de maior dimensão, mantendo este a mesma altura que detinha antes da reflexão (fig. 189 e 190).

RCF61

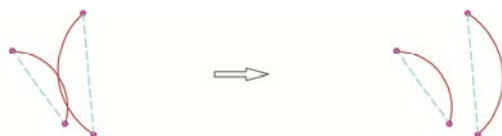


Fig. 189 – Descrição geométrica da regra RCF61.

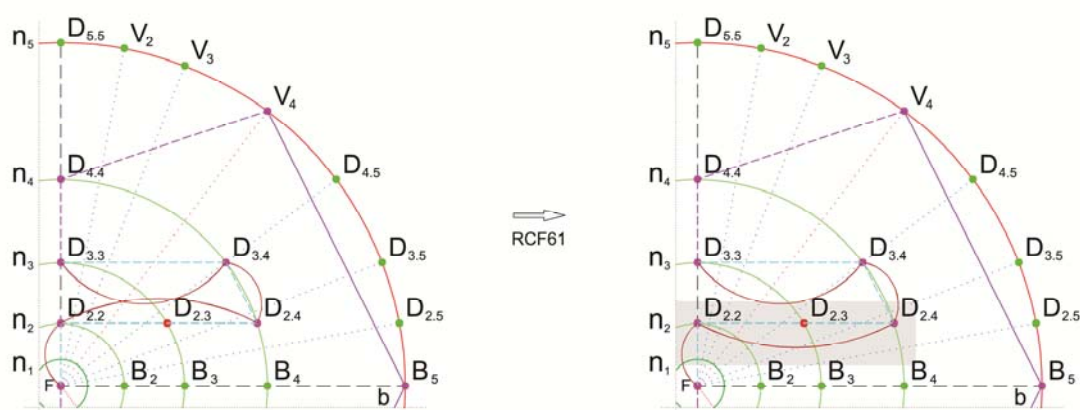


Fig. 190 – Exemplo de aplicação da regra RCF61.

Reflexão de arco sobre o seu segmento de reta referencial, mantendo a altura de $1/2.1/2r$.

_ RCF 62 – Sobreposição de arcos definidos em segmentos de reta não contínuos e de linha tracejada _ reflexão do arco definido no segmento de reta de menor dimensão.

No seguimento da regra anterior (RCF61), a mesma situação de sobreposição de arcos, pode também ser solucionada, desta feita, através da reflexão do arco associado ao segmento de reta de menor dimensão. O arco refletido mantém também a mesma altura que detinha antes da reflexão (fig. 191 e 192).

RCF62



Fig. 191 – Descrição geométrica da regra RCF62.

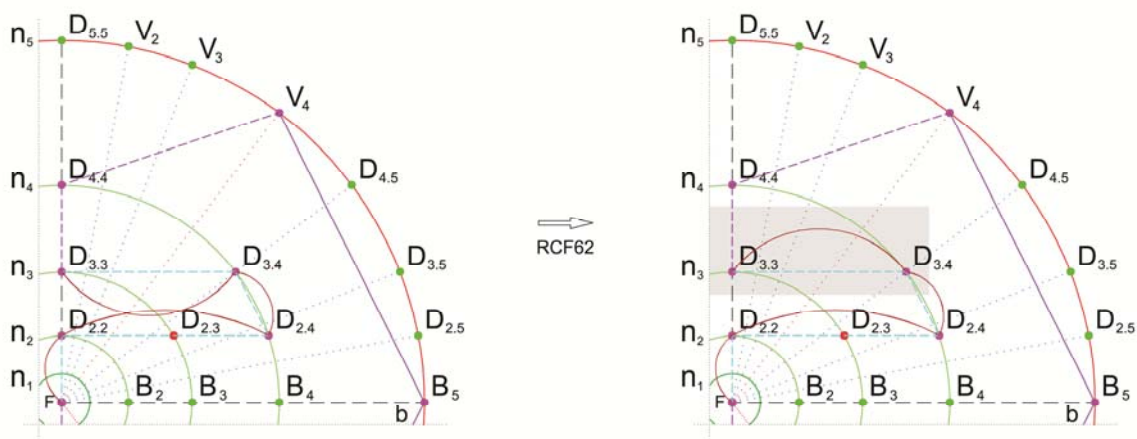


Fig. 192 – Exemplo de aplicação da regra RCF62.
Reflexão de arco sobre o seu segmento de reta referencial, mantendo a altura de $1/1.1/2r$.

_ RCF 63 – Sobreposição de arcos definidos em segmentos de reta não contínuos e de linha tracejada _ redução da altura de ambos os arcos.

A sobreposição dos arcos referida nas últimas 4 regras (RCF59, RCF60, RCF61 e RCF62) pode ainda ser solucionada através da redução da altura de ambos os arcos. Tal como nas regras RCF59 e RCF60, esta regra só pode ser aplicada se a altura dos arcos ainda não tiver atingido a dimensão mínima ($1/4.1/2r$). Caso contrário, a solução não passa pela aplicação desta regra, mas sim, por uma das soluções descritas nas regras deste tipo de sobreposição (RCF59, RF60, RCF61 e RCF62) (fig. 193 e 194).

RCF63

se $h > 1/4.1/2r$ $h = x.1/2r$ $x = \{1/1, 1/2, 1/3, 1/4, 2/3, 2/5, 3/4\}$

Fig. 193 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF63.

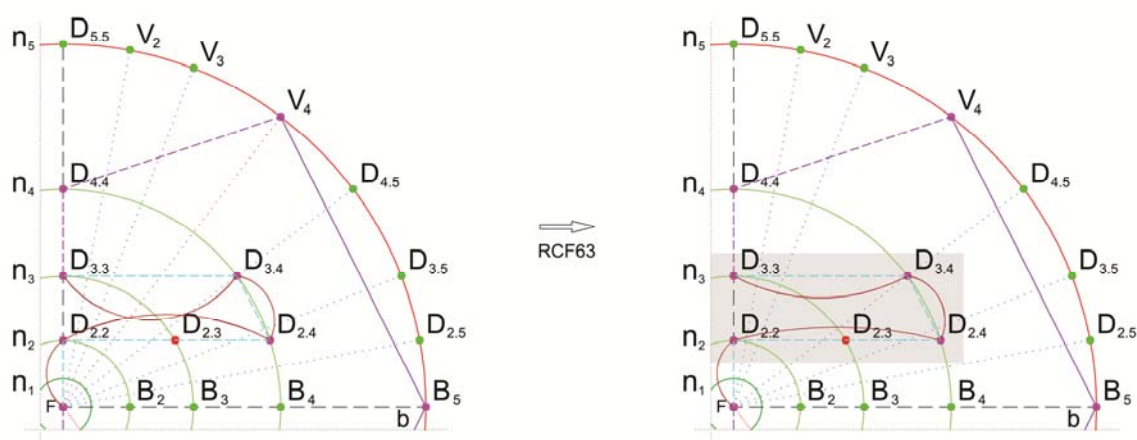


Fig. 194 – Exemplo de aplicação da regra RCF63.
Aplicação da regra mudando a altura do arco associado ao segmento de reta de menor dimensão de $1/1.1/2r$ para $1/2.1/2r$ e a altura do arco associado ao segmento de reta de maior dimensão de $1/2.1/2r$ para $1/4.1/2r$.

_ RCF 64 – Sobreposição de arcos definidos em segmentos de reta ligados em continuidade e de linha tracejada _ reflexão do arco definido no segmento de reta de menor dimensão.

Um outro caso distinto de sobreposição de arcos pode dar-se quando estes estão associados a dois segmentos de reta de linha tracejada, dispostos em continuidade. Uma das soluções para desfazer esta sobreposição passa pela reflexão do arco associado ao segmento de reta de menor dimensão, mantendo-se a altura do arco (fig. 195 e 196).

RCF64

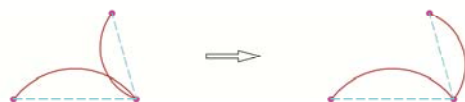


Fig. 195 – Descrição geométrica da regra RCF64.

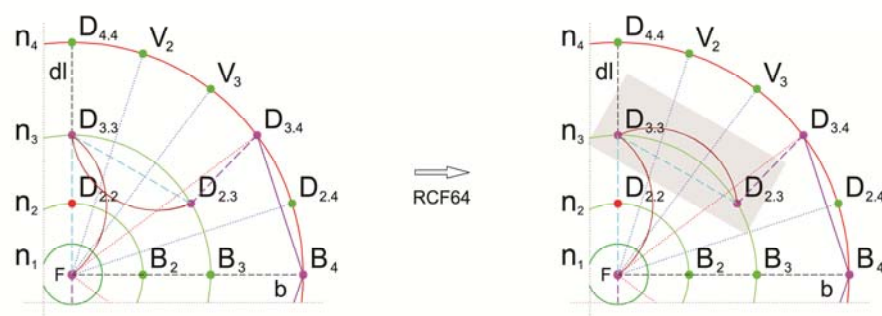


Fig. 196 – Exemplo de aplicação da regra RCF64.

Reflexão de arco sobre o seu segmento de reta referencial, mantendo a altura de $1/1.1/2r$.

_ RCF 65 – Sobreposição de arcos definidos em segmentos de reta ligados em continuidade e de linha tracejada _ reflexão do arco definido no segmento de reta de maior dimensão.

Na sequência da regra RCF64, o mesmo tipo de sobreposição de arcos pode ser solucionada, desta feita, pela reflexão do arco associado ao segmento de reta de maior dimensão, mantendo-se também, a altura do arco (fig. 197 e 198).

RCF65

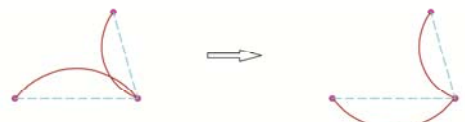


Fig. 197 – Descrição geométrica da regra RCF65.

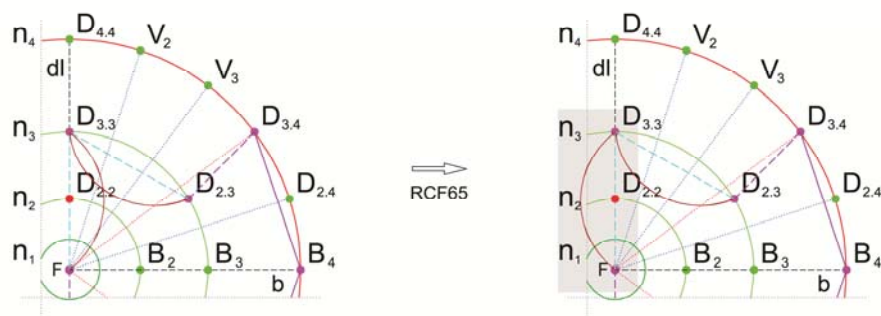


Fig. 198 – Exemplo de aplicação da regra RCF65.
Reflexão de arco sobre o seu segmento de reta referencial, mantendo a altura de $1/1.1/2r$.

_ RCF 66 – Sobreposição de arcos definidos em segmentos de reta ligados em continuidade e de linha tracejada _ redução da altura do arco definido no segmento de reta de maior dimensão.

O tipo de sobreposição de arcos referido nas regras RCF64 e RCF65, pode ser também solucionada através da redução da altura dos arcos. Assim sendo, a solução pode passar pela redução do arco associado ao segmento de reta de maior dimensão. No entanto, esta regra só pode ser aplicada se a altura do arco ainda não tiver atingido a dimensão mínima ($1/4.1/2r$). Se tal se verificar, a solução não passa pela aplicação desta regra, mas sim por uma das soluções descritas nas regras seguintes (RCF64, RCF65, RCF67 e RCF68) (fig. 199 e 200).

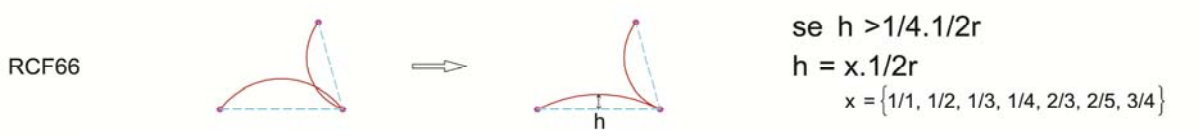


Fig. 199 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF66.

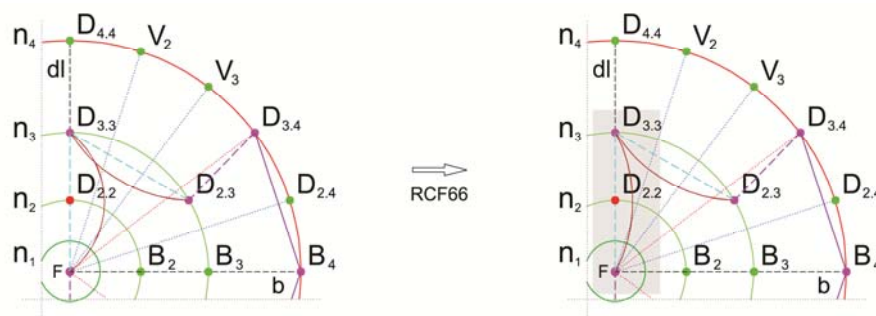


Fig. 200 – Exemplo de aplicação da regra RCF66.
Aplicação da regra mudando a altura do arco de $1/1.1/2.r$ para $1/2.1/2r$

_ RCF 67 – Sobreposição de arcos definidos em segmentos de reta ligados em continuidade e de linha tracejada _ redução da altura do arco definido no segmento de reta de menor dimensão.

Outra hipótese para solucionar o tipo de sobreposição de arcos referido na regra anterior (RCF66), passaria desta vez, pela redução da altura do arco associado ao segmento de reta de menor dimensão. Também como referido na regra RCF66), esta regra só pode ser aplicada se a altura do arco ainda não tiver atingido a dimensão mínima ($1/4.1/2r$). Se tal se verificar, a solução não

passa pela aplicação desta regra, mas sim, por uma das soluções descritas nas regras deste tipo de sobreposição (RCF64, RCF65, RCF66 e RCF68) (fig. 201 e 202).

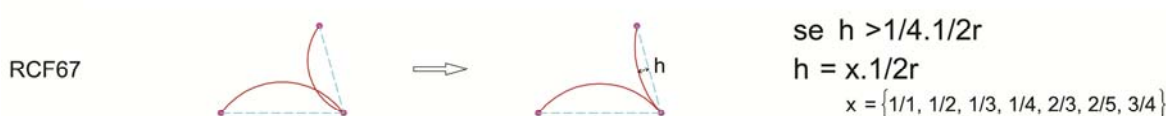


Fig. 201 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF67.

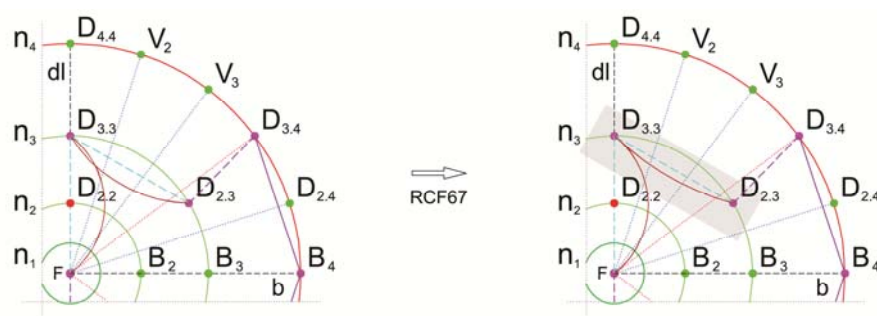


Fig. 202 – Exemplo de aplicação da regra RCF67.

Aplicação da regra mudando a altura do arco de $1/2.1/2r$ para $1/4.1/2r$

_ RCF 68 – Sobreposição de arcos definidos em segmentos de reta ligados em continuidade e de linha tracejada _ redução da altura de ambos os arcos.

Por fim, outra hipótese para solucionar este tipo de sobreposição de arcos, passaria por uma mistura das regras RCF66 e RCF68. Ou seja, pela redução em simultâneo da altura dos arcos. Mais uma vez, esta regra só poderia ser aplicada se a altura de pelo menos um dos arcos não tiver atingido a dimensão mínima ($1/4.1/2r$). Se tal não se verificar, a solução não passa pela aplicação desta regra, mas sim, por uma das soluções descritas nas regras deste tipo de sobreposição (RCF64, RCF65, RCF66 e RCF67) (fig. 203 e 204).

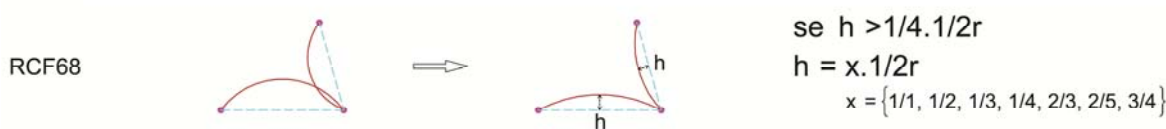


Fig. 203 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF68.

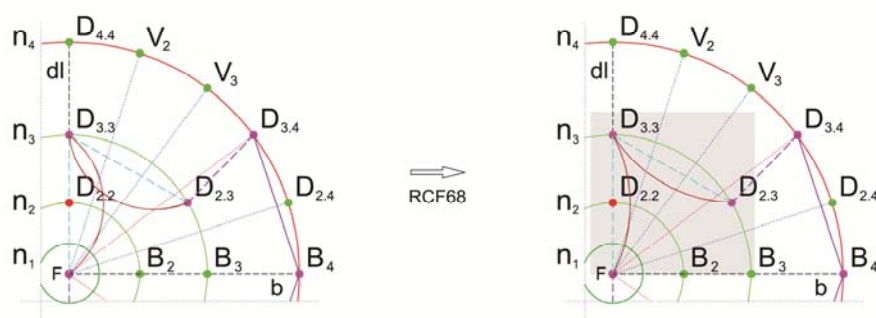


Fig. 204 – Exemplo de aplicação da regra RCF68.

Aplicação da regra mudando a altura do arco associado ao segmento de reta de menor dimensão de $1/2.1/2r$ para $1/4.1/2r$ e a altura do arco associado ao segmento de reta de maior dimensão de $1/1.1/2r$ para $1/2.1/2r$

_ RCF 69 – Sobreposição de arcos definidos em segmentos de reta não contínuos, um de linha tracejada e outro de linha contínua _ redução da altura do arco definido no segmento de reta de linha tracejada.

Um outro tipo de sobreposição de arcos pode ser definido, quando estes estão assentes em segmentos de reta não contínuos, sendo um deles de linha tracejada e outro de linha contínua. Para anular a sobreposição, uma das soluções passaria pela redução da altura do arco referenciado no segmento de linha tracejada. No entanto, esta redução só poderá ser efetuada, se a altura do arco já não estiver representada com a dimensão mínima ($1/4.1/2r$). Se tal se verificar, será necessário optar por uma outra solução para sobreposições de arcos deste tipo (RCF70, RCF71 e RCF72) (fig. 205 e 206).

RCF69

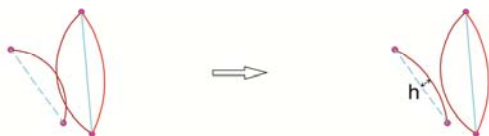
se $h > 1/4.1/2r$ $h = x.1/2r$ $x = \{1/1, 1/2, 1/3, 1/4, 2/3, 2/5, 3/4\}$

Fig. 205 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF69.

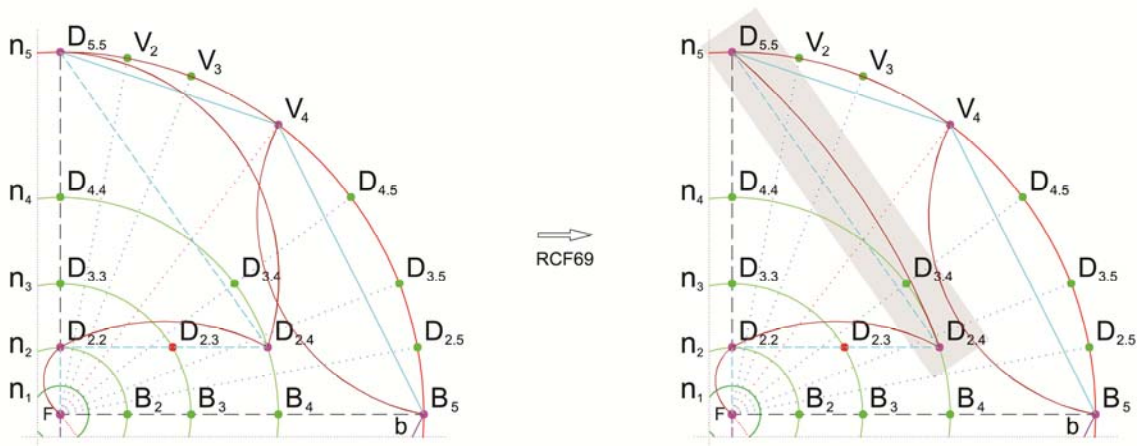


Fig. 206 – Exemplo de aplicação da regra RCF69.

Aplicação da regra mudando a altura do arco de $1/1.1/2r$ para $1/4.1/2r$

_ RCF 70 – Sobreposição de arcos definidos em segmentos de reta não contínuos, um de linha tracejada e outro de linha contínua _ redução da altura do arco definido no segmento de reta de linha contínua.

Na continuidade da regra RCF 69, esta regra apresenta uma outra solução para o mesmo tipo de sobreposição de arcos. A solução passaria então, pela redução da altura do arco assente no segmento de linha contínua, apenas se este já não estiver representado com a dimensão mínima ($1/4.1/2r$). Se tal se verificar, a regra não poderá ser aplicada e terá que encontrar uma solução nas regras que abordam este tipo de sobreposição (RCF69, RCF71 e RCF72) (fig. 207 e 208).



Fig. 207 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF70.

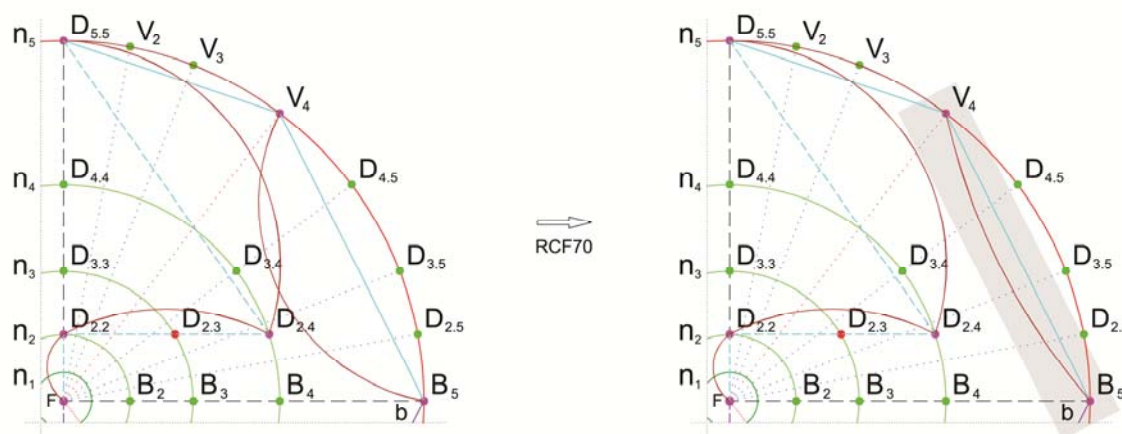


Fig. 208 – Exemplo de aplicação da regra RCF70.
 Aplicação da regra mudando a altura do arco de $1/1.1/2.r$ para $1/4.1/2r$

_ RCF 71 – Sobreposição de arcos definidos em segmentos de reta não contínuos, um de linha tracejada e outro de linha contínua _ redução da altura de ambos os arcos.

Como um misto das regras RCF69 e RCF70, surge a regra RCF71. Esta regra propõe que a anulação da sobreposição dos arcos seja feita através da redução da altura de ambos os arcos. Mais uma vez, se pelo menos um dos arcos já estiver representado com a altura mínima ($1/4.1/2r$) a regra não pode ser aplicada, tornando-se opção uma das outras regras que abordam este tipo de sobreposição (RCF69, RCF 70 e RCF 72) (fig. 209 e 210).

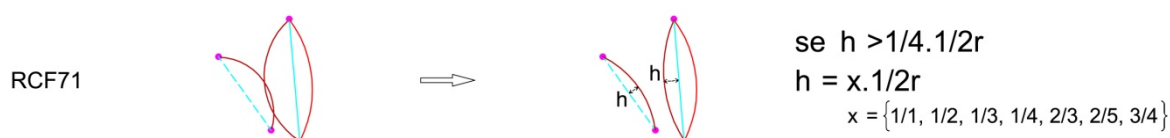


Fig. 209 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF71.

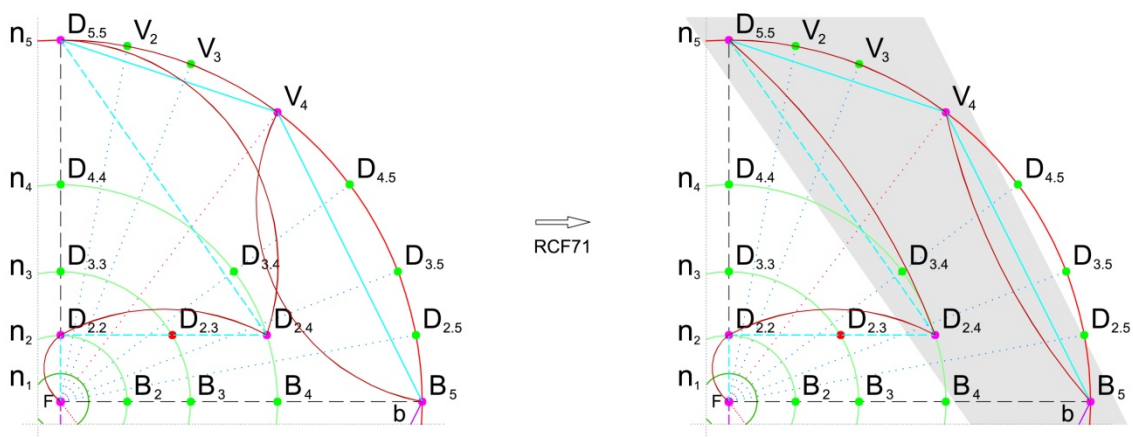


Fig. 210 – Exemplo de aplicação da regra RCF71.

Aplicação da regra mudando a altura do arco associado ao segmento de reta de linha tracejada de $1/1.1/2r$ para $1/4.1/2r$ e a altura do arco associado ao segmento de reta de de linha contínua de $1/1.1/2r$ para $1/4.1/2r$.

_ RCF 72 – Sobreposição de arcos definidos em segmentos de reta não contínuos, um de linha tracejada e outro de linha contínua _ reflexão do arco definido no segmento de reta de linha tracejada.

Além da anulação da sobreposição dos arcos pela redução da altura das regras RCF69, RCF70 e RCF 71, a sobreposição neste tipo de situações também pode ser desfeita através da reflexão do arco referenciado no segmento de reta de linha tracejada, mantendo o arco a mesma altura (fig. 211 e 212).

RCF72

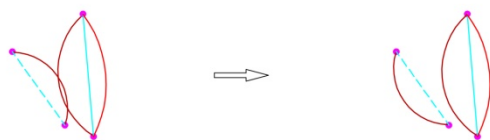


Fig. 211 – Descrição geométrica da regra RCF72.

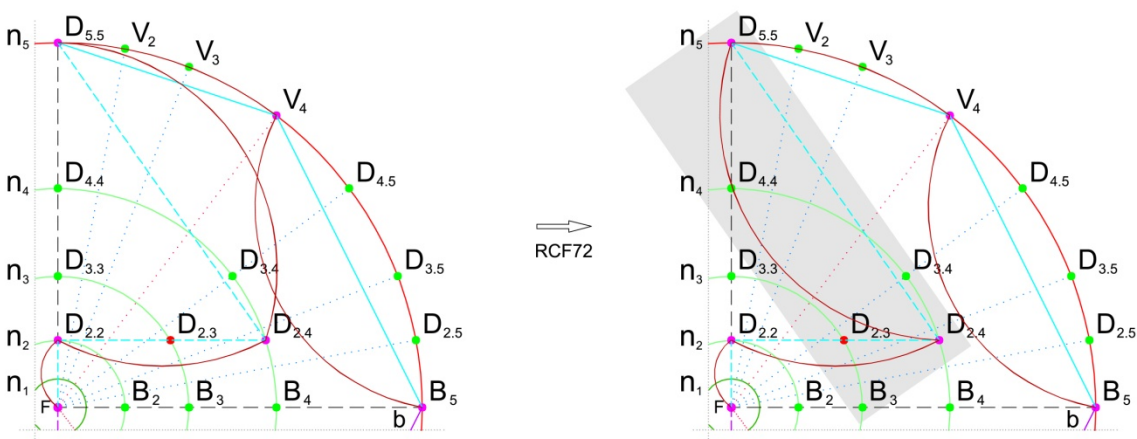


Fig. 212 – Exemplo de aplicação da regra RCF72.

Reflexão de arco sobre o seu segmento de reta referencial, mantendo a altura de $1/1.1/2r$.

_ RCF 73 – Sobreposição de arcos definidos em segmentos de reta ligados em continuidade, um de linha tracejada e outro de linha contínua _ redução da altura do arco definido no segmento de reta de linha contínua.

A sobreposição de arcos referenciados em segmentos de reta de linha tracejada e de linha contínua ligados em continuidade, apresenta-se como uma outra hipótese tipo. Acompanhando as hipóteses já apresentadas nas outras situações tipo, também nestes casos, uma das soluções passa pela diminuição da altura de um dos arcos, neste caso concreto, do arco referenciado no segmento de reta de linha contínua. Também neste caso, se a arco apresentado já não puder ser mais reduzido por já ter atingido a altura mínima ($1/4.1/2r$) a regra não pode ser aplicada, surgindo como hipóteses as soluções das regras RCF 74, RCF75 e RCF76 (fig. 213 e 214).

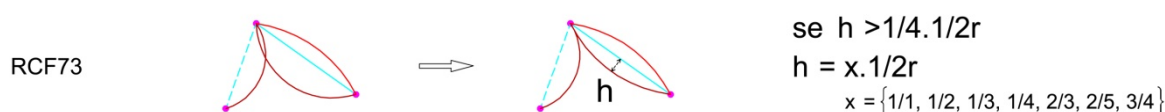


Fig. 213 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF73.

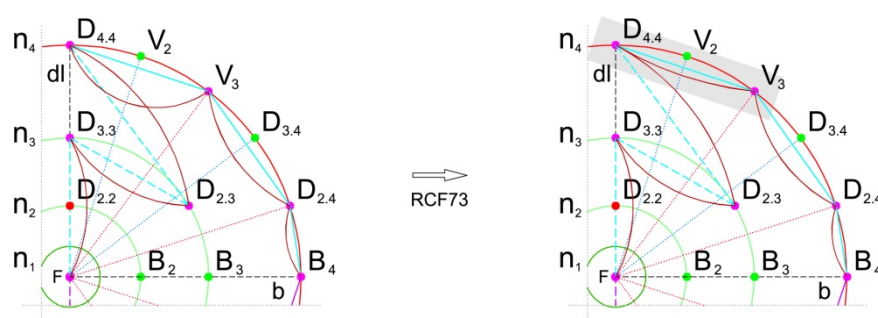


Fig. 214 – Exemplo de aplicação da regra RCF73.
 Aplicação da regra mudando a altura do arco de $1/1.1/2.r$ para $1/4.1/2r$

_ RCF 74 – Sobreposição de arcos definidos em segmentos de reta ligados em continuidade, um de linha tracejada e outro de linha contínua _ redução da altura do arco definido no segmento de reta de linha tracejada.

Dentro da hipótese tipo referenciada em RCF73, uma outra hipótese de anulação da sobreposição de arcos passa pela diminuição da altura do arco referenciado no segmento de reta da linha tracejada. Esta regra, também só pode ser aplicada caso o arco ainda não esteja definido com a altura mínima ($1/4.1/2r$), caso contrário as soluções apresentadas pelas regras RCF73, RCF75 e RCF76 para este tipo de sobreposição, surgem como alternativas válidas (fig. 215 e 216).

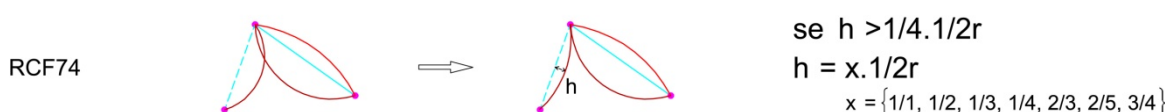


Fig. 215– Descrição geométrica e algébrica da regra RCF74.

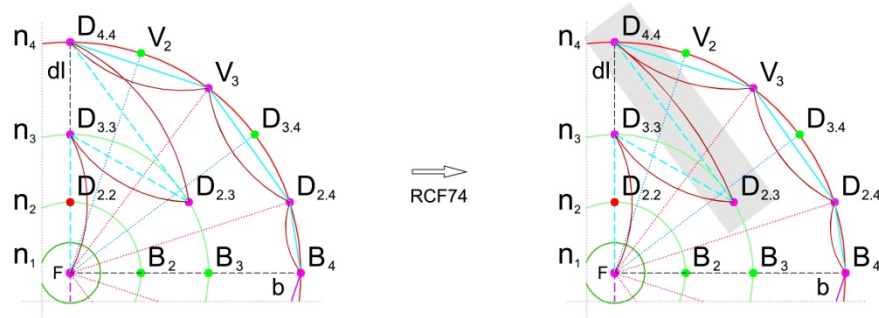


Fig. 216 – Exemplo de aplicação da regra RCF74.
Aplicação da regra mudando a altura do arco de $1/2.1/2.r$ para $1/4.1/2r$

_ RCF 75 – Sobreposição de arcos definidos em segmentos de reta ligados em continuidade, um de linha tracejada e outro de linha contínua _ redução da altura de ambos os arcos.

Como tem sido hábito nos outros tipos de sobreposição de arcos, a anulação das sobreposições dos mesmos, por redução simultânea das suas alturas também se apresenta, nesta situação, como uma alternativa de resolução. Apenas a existência de pelo menos um dos arcos já com a altura mínima ($1/4.1.2r$) se apresenta como a exceção à não aplicação da regra, tendo-se assim, que poderar as alternativas apresentadas pelas regras RCF73, RCF74 e RCF76 (fig. 217 e 218).

RCF75

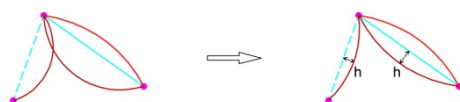
se $h > 1/4.1/2r$ $h = x.1/2r$ $x = \{1/1, 1/2, 1/3, 1/4, 2/3, 2/5, 3/4\}$

Fig. 217 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF75.

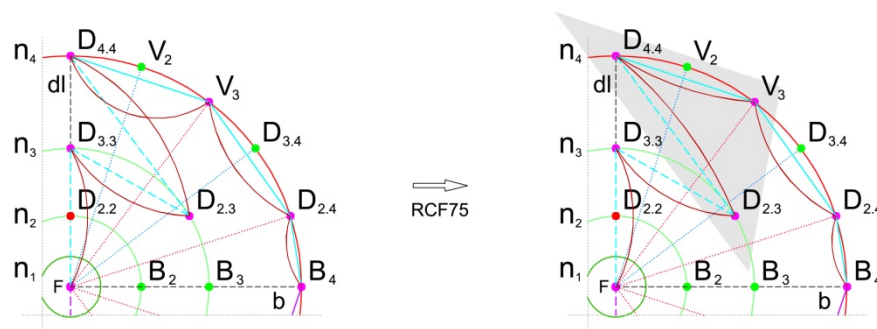


Fig. 218 – Exemplo de aplicação da regra RCF75.
Aplicação da regra mudando a altura do arco associado ao segmento de reta de linha tracejada de $1/2.1/2.r$ para $1/4.1/2r$ e a altura do arco associado ao segmento de reta de de linha contínua de $1/1.1/2r$ para $1/4.1/2r$.

_ RCF 76 – Sobreposição de arcos definidos em segmentos de reta ligados em continuidade, um de linha tracejada e outro de linha contínua _ reflexão do arco definido no segmento de reta de linha tracejada.

Mais uma vez, a hipótese de resolução por reflexão dos arcos surge também neste tipo de sobreposição de arcos como uma alternativa às soluções apresentadas nas regras RCF73, RCF74 e RCF75. Neste caso, apenas se irá optar pela reflexão do arco referenciado no segmento de reta de linha tracejada, mantendo-se a mesma altura do arco inicial (fig. 219 e 220).

RCF76

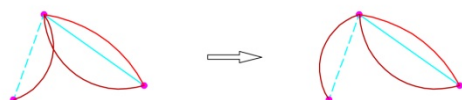


Fig. 219 – Descrição geométrica da regra RCF76.

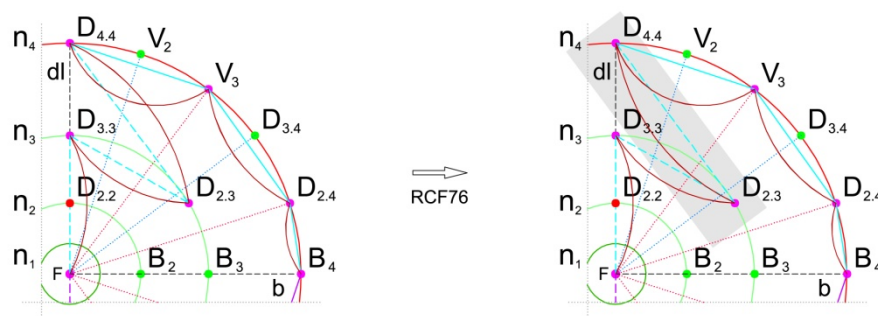


Fig. 220 – Exemplo de aplicação da regra RCF76.

Reflexão de arco sobre o seu segmento de reta referencial, mantendo a altura de $1/2.1/2r$.

_ RCF 76A – Sobreposição de arcos definidos em segmentos de reta ligados em continuidade, ambas de linha contínua _ reflexão de um dos arcos.

A sobreposição de arcos pode também ocorrer em situações em que estão referenciados em linhas contínuas do perfil auxiliar, ligados em continuidade. Nestes casos, procede-se à reflexão de um dos arcos, colocando-o coincidente com o troço do arco referente ao último nível de expansão (fig. 221 e 222).

RCF76A

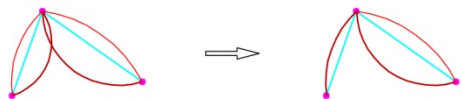


Fig. 221 – Descrição geométrica da regra RCF76A.

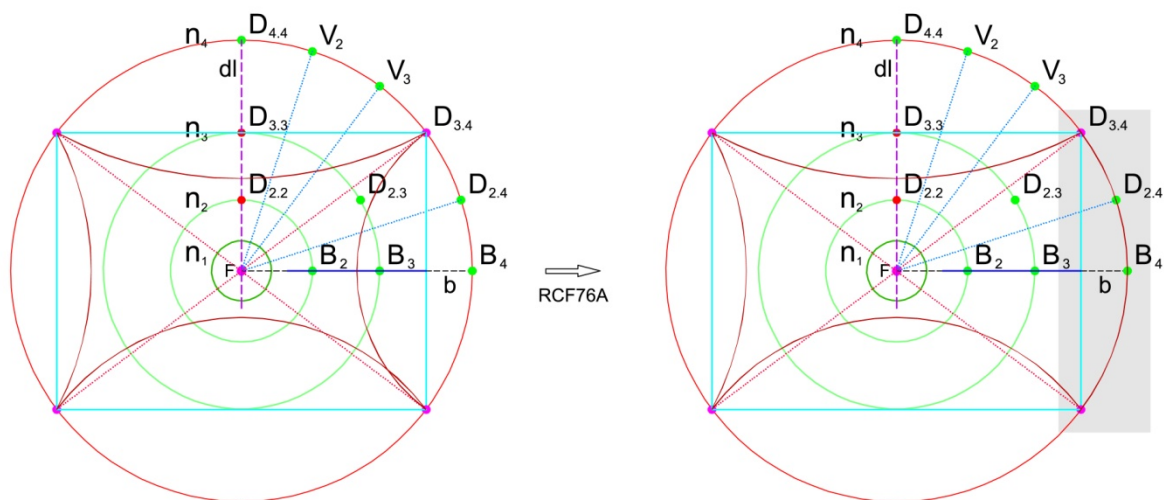


Fig. 222 – Exemplo de aplicação da regra RCF76A.
Reflexão de arco sobre o último nível de expansão (n_4).

_ RCF 77 – Sobreposição entre arcos regulares definidos em segmentos de reta de linha tracejada e arcos de perfil composto definidos em segmentos de reta de linha contínua, estando ambos ligados em continuidade _ reflexão do arco definido no segmento de reta de linha tracejada.

A sobreposição de arcos também pode contemplar sobreposições com arcos distintos ou seja, entre arcos regulares (parte de um perímetro de circunferência) e arcos de perfil composto, resultantes de um conjunto de três arcos regulares. Este tipo de sobreposição pode acontecer quando dois segmentos de reta, um de linha tracejada contendo o arco regular e o outro de linha contínua contendo o arco de perfil composto, estão ligados em continuidade. Uma das hipóteses de anular a sobreposição passa pela reflexão do arco regular sobre o respectivo segmento de reta, mantendo assim, a mesma altura do arco (fig. 223 e 224).

RCF77

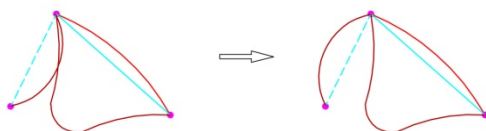


Fig. 223 – Descrição geométrica da regra RCF77.

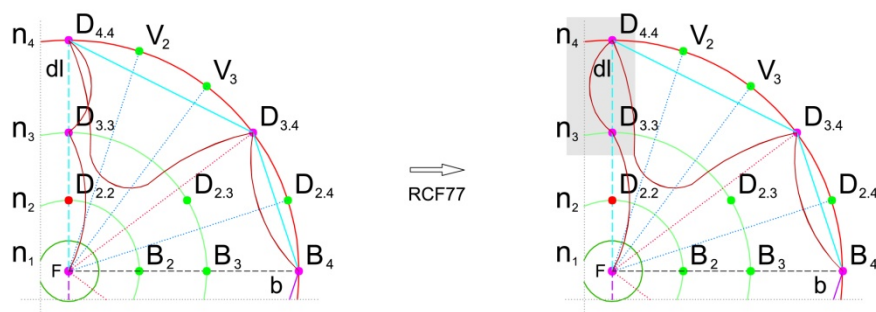


Fig. 224 – Exemplo de aplicação da regra RCF77.
Reflexão de arco sobre o seu segmento de reta referencial, mantendo a altura de $1/1.1/2r$.

_ RCF 78 – Sobreposição entre arcos definidos em segmentos de reta de linha tracejada e arcos compostos definidos em segmentos de reta de linha contínua, estando ambos ligados em continuidade _ redução da altura do arco definido no segmento de reta de linha contínua.

A redução da altura do arco surge como uma hipótese alternativa à reflexão da regra RCF77. Neste caso específico, a solução para desfazer a sobreposição dos arcos passa pela alteração da altura do arco composto através da redução do número de intervalos de expansão com que é gerado (ver regra RCF57). Se o arco composto não permitir a redução dos intervalos de expansão, então esta regra não pode ser aplicada, ficando as soluções das regras RCF77, RCF79 e RCF80, como hipóteses alternativas para este tipo de sobreposição (fig. 225 e 226).

RCF78

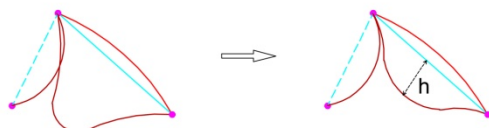


Fig. 225 – Descrição geométrica da regra RCF78.

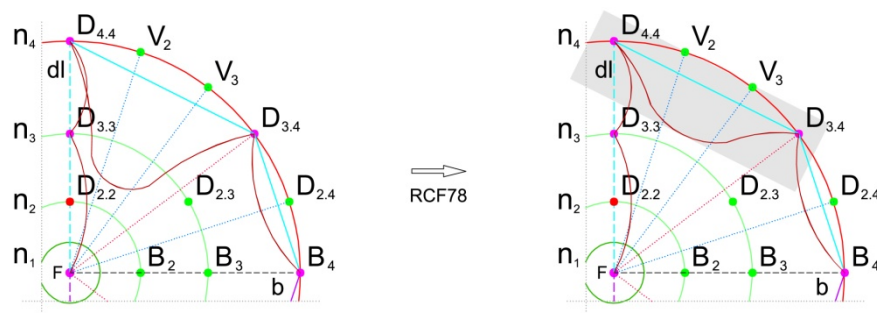


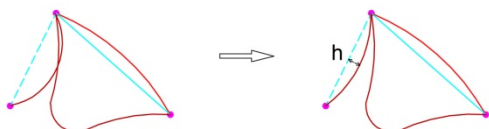
Fig. 226 – Exemplo de aplicação da regra RCF78.

Alteração da altura do arco composto pela redução dos intervalos de expansão de dois para um.

_ RCF 79 – Sobreposição entre arcos definidos em segmentos de reta de linha tracejada e arcos compostos definidos em segmentos de reta de linha contínua, estando ambos ligados em continuidade _ redução da altura do arco definido no segmento de reta de linha tracejada.

A regra RCF79, apresenta-se como mais uma hipótese para desfazer a sobreposição de arcos para a mesma situação de RCF78 e RCF77. A alternativa passa pela redução da altura do arco como na regra RCF78, mas neste caso, com a diminuição do arco regular referenciado no segmento de reta de linha tracejada. Para efetuar esta redução, é necessária que o arco não esteja já referenciado com a altura mínima. Se tal se verificar, a regra não pode ser aplicada, apresentando-se como hipóteses as soluções das regras RCF77, RCF78 e RCF80 (fig. 227 e 228).

RCF79



$$\text{se } h > 1/4 \cdot 1/2r$$

$$h = x \cdot 1/2r$$

$$x = \{1/1, 1/2, 1/3, 1/4, 2/3, 2/5, 3/4\}$$

Fig. 227 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF79.

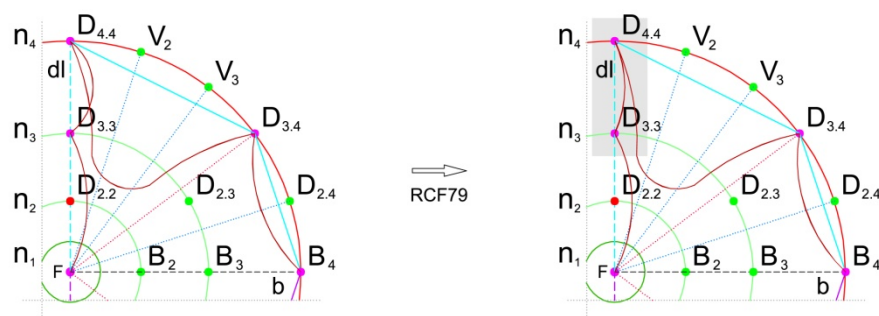


Fig. 228 – Exemplo de aplicação da regra RCF79.
Aplicação da regra mudando a altura do arco de $1/2.1/2.r$ para $1/4.1/2r$.

_ RCF 80 – Sobreposição entre arcos definidos em segmentos de reta de linha tracejada e arcos compostos definidos em segmentos de reta de linha contínua, estando ambos ligados em continuidade _ substituição do arco de perfil composto por um arco regular.

Para além da diminuição da altura do arco (RCF78 e RCF79) e da reflexão do arco (RCF77), uma outra hipótese pode ser aplicada para desfazer a sobreposição dos arcos nestes casos. A solução passa por transformar o arco composto por um arco regular com uma altura tal, que anule a sobreposição dos arcos (ver regra RCF54). Se mesmo assim, esta hipótese não evitar que os arcos se sobreponham, então a regra não deve ser aplicada e as soluções das regras RCF77, RCF78 e RCF79, passam a ser alternativas para a resolução da sobreposição (fig. 229 e 230).

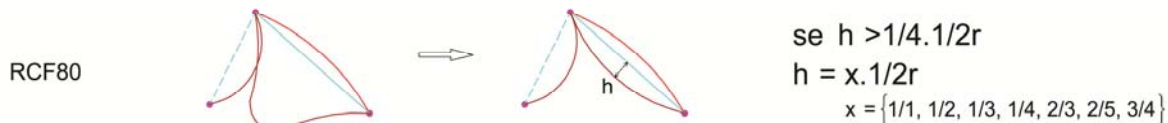


Fig. 229 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF80.

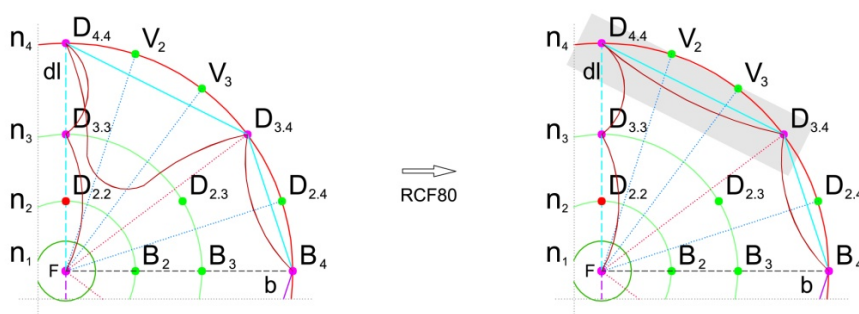


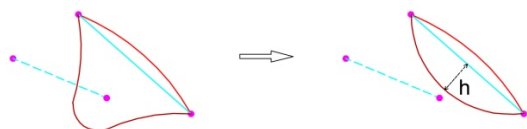
Fig. 230 – Exemplo de aplicação da regra RCF80.
Aplicação da regra atribuindo ao arco uma altura de $1/4.1/2.r$

_ RCF 81 – Intersecção de arcos compostos definidos nos segmentos de reta de linha contínua com segmentos de reta de linha tracejada _ substituição do arco composto por um arco regular.

Os arcos compostos têm uma capacidade de penetração na forma em direção ao centro muito superior à dos arcos regulares. Portanto, sempre que na composição geométrica de um destes arcos intersete um segmento de reta de linha tracejada, este deve ser substituído por um arco regular

com uma altura tal, que não interseste de novo o mesmo segmento de reta (ver regra RCF54) (fig. 231 e 232).

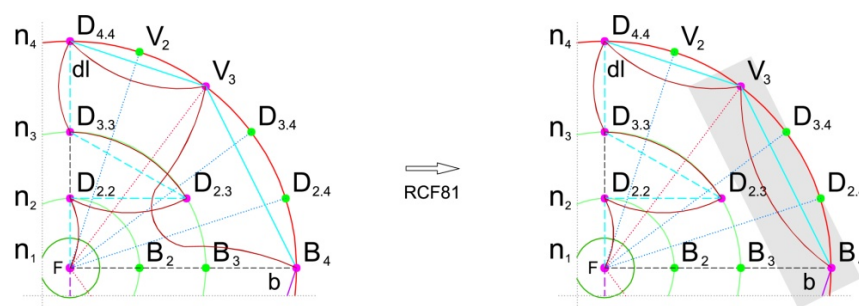
RCF81

se $h > 1/4.1/2r$

$$h = x.1/2r$$

$$x = \{1/1, 1/2, 1/3, 1/4, 2/3, 2/5, 3/4\}$$

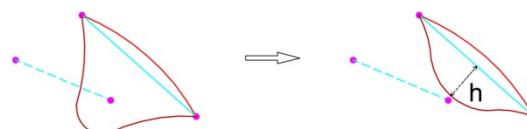
Fig. 231 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF81.

Fig. 232 – Exemplo de aplicação da regra RCF81.
Aplicação da regra atribuindo ao arco uma altura de $1/2.1/2.r$

– *RCF 82 – Intersecção de arcos compostos definidos nos segmentos de reta de linha contínua com segmentos de reta de linha tracejada – redução da altura do arco definido no segmento de reta de linha contínua.*

Existe ainda uma hipótese à regra RCF81, para o mesmo caso tipo. Esta passa pela diminuição da altura do arco composto, mediante a redução do número de intervalos de expansão (ver RCF77), isto se este já não estiver definido com o número mínimo. Se a altura do arco não permitir a aplicação da regra, então a alternativa passa sempre por aplicar a solução da regra RCF81 (fig. 233 e 234).

RCF82

se $h > 1/4.1/2r$

$$h = x.1/2r$$

$$x = \{1/1, 1/2, 1/3, 1/4, 2/3, 2/5, 3/4\}$$

Fig. 233 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF82.

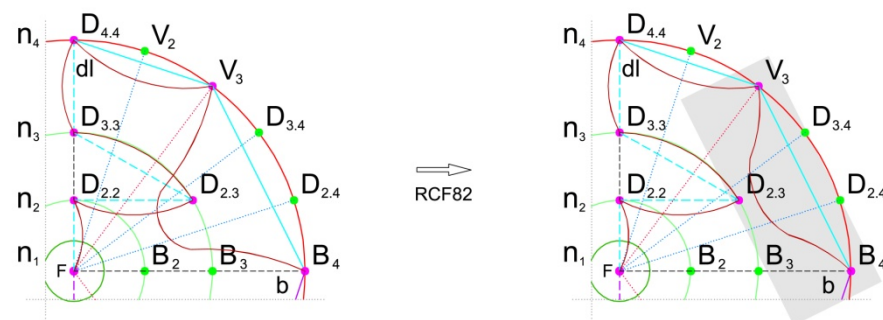


Fig. 234 – Exemplo de aplicação da regra RCF82.

Alteração da altura do arco composto pela redução dos intervalos de expansão de dois para um.

– RCF 83 – Sobreposição entre arcos definidos em segmentos de reta de linha tracejada e arcos de perfil composto em segmentos de reta de linha contínua – redução da altura do arco definido no segmento de reta de linha tracejada.

A sobreposição de arcos compostos com arcos regulares, também pode ocorrer quando as linhas que os referenciam não estão ligadas em continuidade. Uma das soluções para anular a sobreposição, pode passar pela redução da altura do arco regular referenciado no segmento de reta da linha tracejada, isto apenas se a altura deste já não corresponder à altura mínima ($1/4.1/2r$). Se a altura do arco impedir a aplicação da regra, este caso tipo pode ser resolvido por meio das soluções apresentadas pelas regras RCF84, RCF85 e RCF86 (fig. 235 e 236).

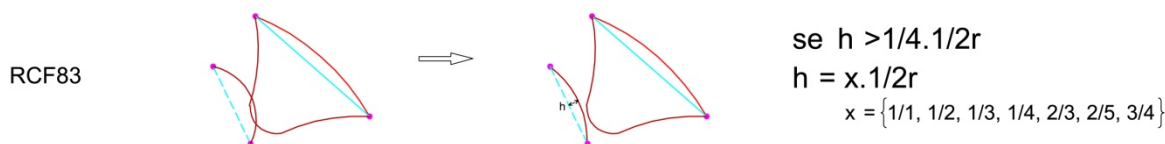


Fig. 235 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF83.

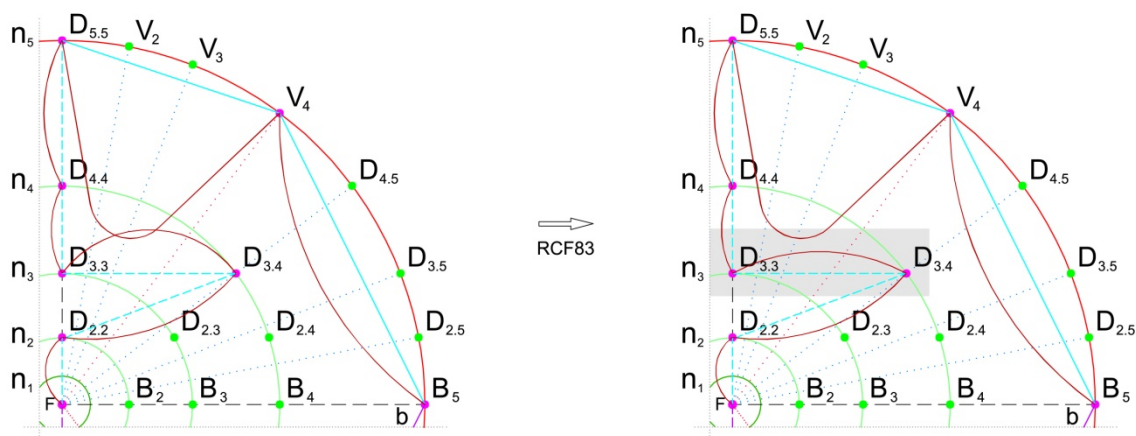


Fig. 236 – Exemplo de aplicação da regra RCF83.

Aplicação da regra mudando a altura do arco de $1/1.1/2.r$ para $1/2.1/2r$.

– RCF 84 – Sobreposição entre arcos definidos em segmentos de reta de linha tracejada e arcos de perfil composto definidos em segmentos de reta de linha contínua – reflexão do arco definido no segmento de reta de linha tracejada.

Uma alternativa à solução por redução da altura do arco da regra RCF83, é a reflexão do arco. Neste caso, a anulação da sobreposição pode ser feita pela reflexão do arco regular referenciado no segmento de reta de linha tracejada, mantendo-se a altura do arco anterior à reflexão (fig. 237 e 238).

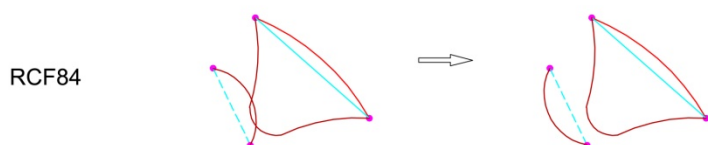


Fig. 237 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF84.

_ RCF 86 – Sobreposição entre arcos definidos em segmentos de reta de linha tracejada e arcos compostos definidos em segmentos de reta de linha contínua _ substituição do arco composto por um arco regular.

Para além das soluções por redução da altura do arco e por reflexão, estes casos tipo de sobreposição de arcos distintos, podem ainda ser resolvidos com uma outra solução. O arco composto pode dar lugar a um arco regular, com uma altura tal que evite a sua sobreposição (ver RCF54). Se esta sobreposição não for evitável, a regra não pode ser aplicada, tornando as soluções das regras RCF83, RCF84 e RCF85, uma alternativa para a anulação da sobreposição de arcos nestes casos tipo (fig. 241 e 242).

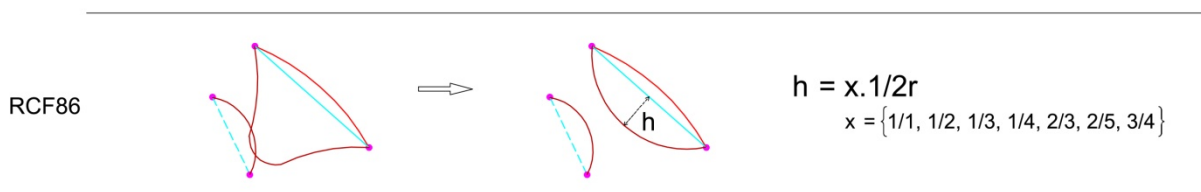


Fig. 241 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF86.

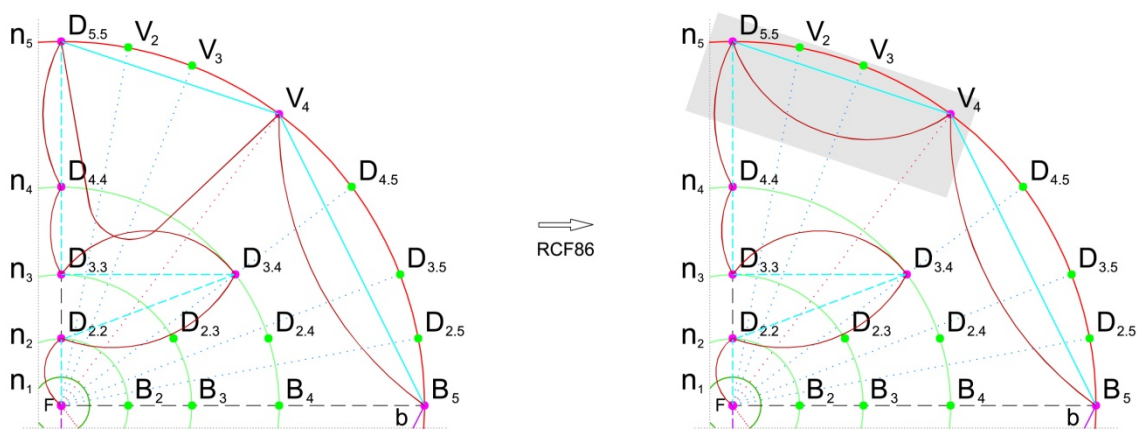


Fig. 242 – Exemplo de aplicação da regra RCF86.
Aplicação da regra atribuindo ao arco uma altura de $1/1.1/2.r$

2.8 Concavidade e convexidade no último nível de expansão

Os arcos dos segmentos de reta de linha contínua definidos por pontos localizados no último nível de expansão, devem ser todos eles direccionados ou para o centro da composição geométrica ou devem estar sobrepostos no perímetro da circunferência do último nível de expansão. Numa situação em que a composição geométrica apresente as duas hipóteses, esta deve ser alterada de modo a que a composição geométrica apenas reflita uma dessas hipóteses (fig. 243).

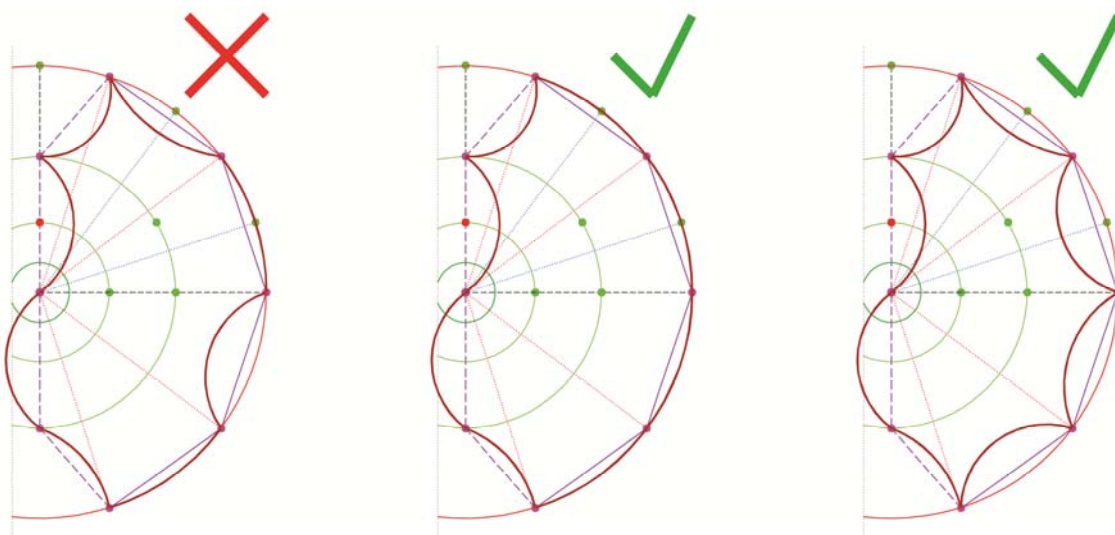


Fig. 243 – Concavidade e convexidade dos arcos no último nível de expansão.

Exemplo de uma estrutura cujos arcos definidos no último nível de expansão não convergem todos para o centro da composição geométrica (esq.) _ a evitar.

Exemplo de uma estrutura cujos arcos definidos sobre o último nível de expansão ou convergem todos para fora do centro da composição (centro) ou convergem todos para o centro da composição (dir.).

_ RCF87 – Alteração do arco situado sobre o perímetro do último nível de expansão para o centro da composição geométrica.

Se a intenção escolhida for direcionar os arcos do perímetro referenciados no último nível de expansão, então deve-se ter em conta a presente regra, bem como as regras RCF88, RCF89 e RCF90.

Um dos casos tipo que podem despontar na composição é a presença em continuidade de um arco direcionado para o centro da composição e um outro situado sobre o perfil do último nível de expansão. Nestes casos, o arco sobre o nível de expansão deve ser refletido para o centro da composição, tendo como referência o segmento de reta em que se insere. A reflexão deve também ter em conta, a aplicação de uma dimensão para a altura do arco de acordo com as hipóteses descritas na regra (fig. 244 e 245).

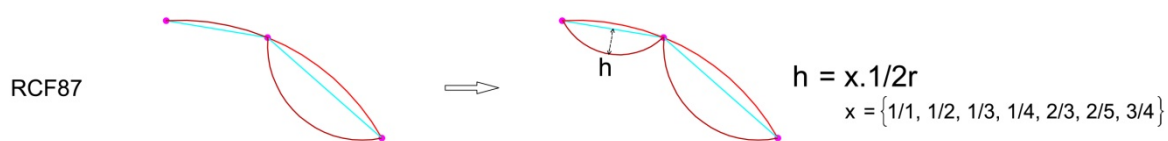


Fig. 244 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF87.

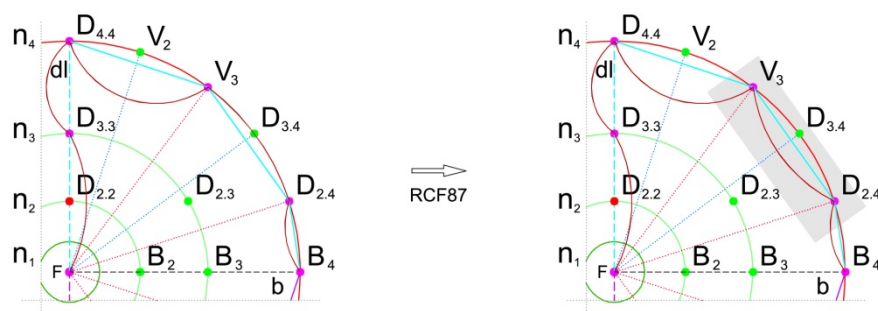


Fig. 245 – Exemplo de aplicação da regra RCF87.
Aplicação da regra atribuindo ao arco uma altura de $1/2.1/2.r$

_ RCF88 – Alteração de um arco situado sobre o perímetro do último nível de expansão para um arco composto direcionado para o centro da composição geométrica.

Para o mesmo caso da regra anterior (RCF87), o arco referenciado no último nível de expansão pode também refletir-se por transformação, passando de um arco regular para um arco composto direcionado para o centro da composição. A altura deste arco deve obedecer às relações proporcionais descritas na regra RCF77 (fig. 246 e 247).

RCF88

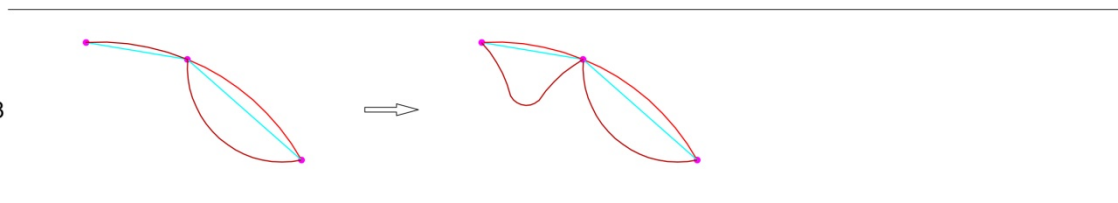


Fig. 246 – Descrição geométrica da regra RCF88.

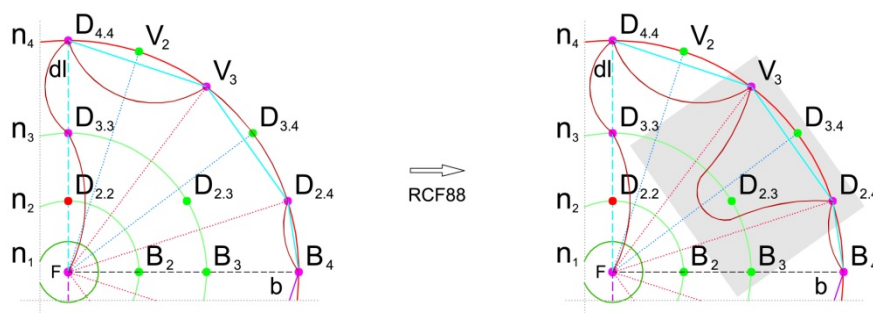


Fig. 247 – Exemplo de aplicação da regra RCF88.

Reflexão por transformação de um arco regular sobre o perímetro do último nível de expansão, por um arco composto com dois intervalos de expansão.

_ RCF89 – Alteração do arco situado sobre o perímetro do último nível de expansão para o centro da composição geométrica.

Nas situações em que um arco composto esteja em continuidade com um arco regular situado no perímetro do último nível de expansão, a solução é idêntica à da regra RCF87. O arco regular deve refletir-se sobre o seu segmento de reta referencial de modo a direcionar-se para o centro da composição. A altura a atribuir ao arco, devem também responder aos valores proporcionais descritos na regra RCF54 (fig. 248 e 249).

RCF89

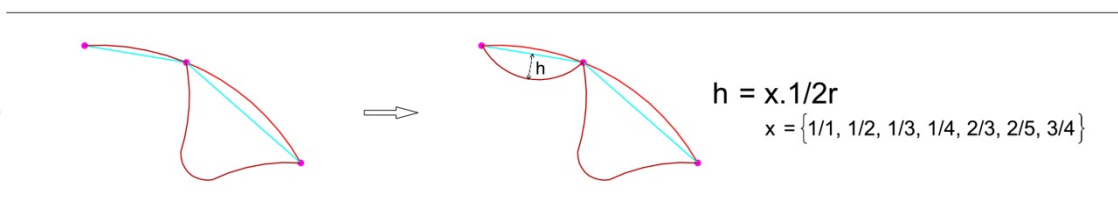


Fig. 248 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF89.

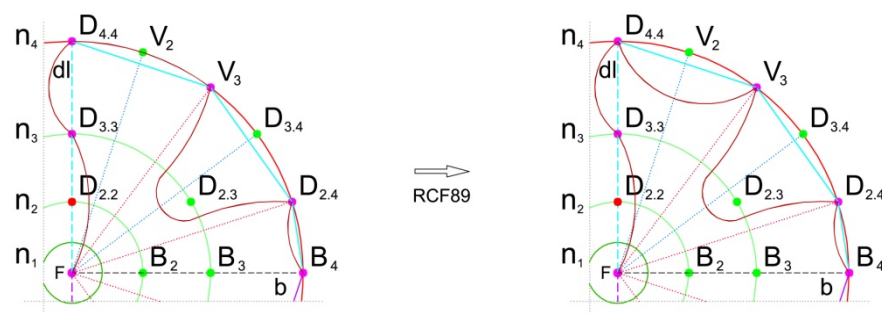


Fig. 249 – Exemplo de aplicação da regra RCF89.
Aplicação da regra atribuindo ao arco uma altura de $1/1.1/2.r$

_ RCF90 – Alteração de um arco situado sobre o perímetro do último nível de expansão para um arco de composto direcionado para o centro da composição geométrica.

Uma outra solução face à regra RCF89, é o arco regular situado sobre o perímetro do último nível de expansão, transformar-se num arco composto após reflexão. A altura do arco deve ter em conta os valores proporcionais descritos na regra RCF77 (fig. 250 e 251).

RCF90

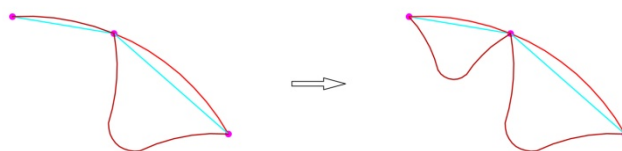


Fig. 250 – Descrição geométrica da regra RCF90.

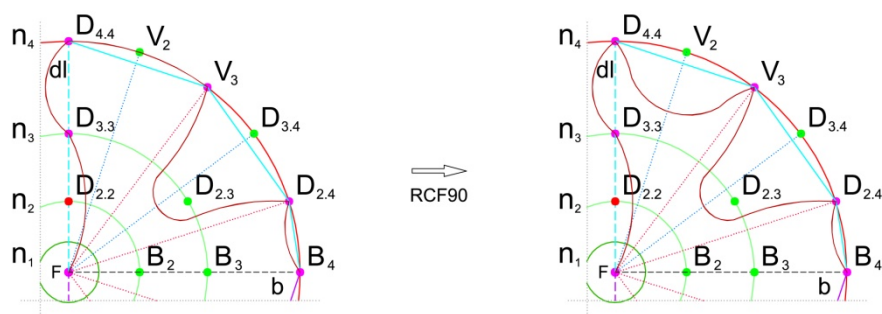


Fig. 251 – Exemplo de aplicação da regra RCF90.
Reflexão por transformação de um arco regular sobre o perímetro do último nível de expansão, por um arco composto com um intervalo de expansão.

_ RCF91 – Transferência do arco para o perímetro do último nível de expansão.

Ao invés das regras RCF87, RCF88, RCF89 e RCF90, a regra RCF91 está direcionada para o desenvolvimento de soluções formais em que os arcos definidos sobre segmentos de reta referenciados em pontos do último nível de expansão sejam todos eles colocados sobre o perímetro desse mesmo nível de expansão. Portanto, sempre que um arco localizado sobre o perímetro do nível de expansão esteja em continuidade com outro arco direcionado para o centro da composição, este último deve refletir-se sobre o segmento de reta que o define e adotar a altura do perímetro do nível de expansão, com o propósito de ficar coincidente com o mesmo (fig. 252 e 253).

RCF91

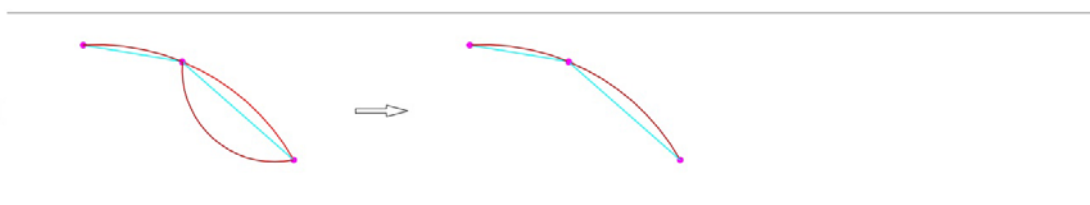


Fig. 252 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF91.

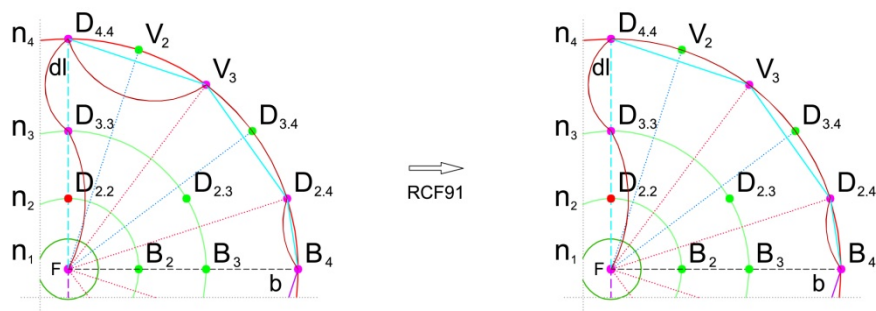


Fig. 253 – Exemplo de aplicação da regra RCF91.

Reflexão sobre o segmento de reta referencial do arco com uma altura de $1/1.1/2r$, para um arco coincidente com parte do perímetro do último nível de expansão.

_ RCF92 – Alteração do arco composto por um arco regular situado sobre o perímetro do último nível de expansão.

No caso, do arco em continuidade com o arco regular situado sobre o nível de expansão, ser um arco composto, o procedimento é idêntico ao aplicado na regra RCF91. O arco composto, tendo como eixo referencial o segmento de reta que o define, deve refletir-se e neste caso específico, transforma-se num arco regular coincidente com o perfil do perímetro do último nível de expansão (fig. 254 e 255).

RCF92

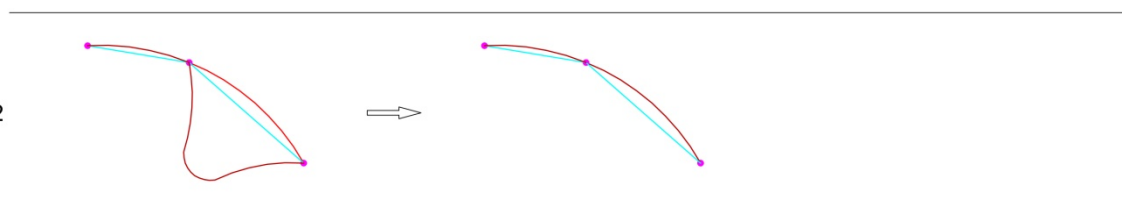


Fig. 254 – Descrição geométrica da regra RCF92.

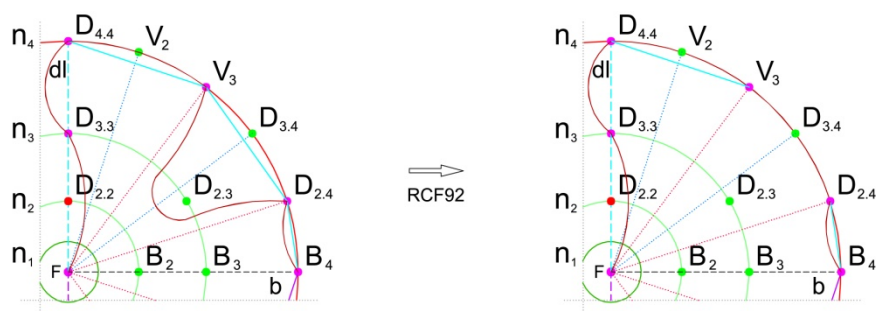


Fig. 255 – Exemplo de aplicação da regra RCF92.

Reflexão sobre o segmento de reta referencial do arco composto com dois intervalos de expansão, para um arco coincidente com parte do perímetro do último nível de expansão.

2.9 Simplificação

Concluído o contorno guia para a geração da forma, devem ser excluídos da base estrutural, todos os elementos geométricos que foram necessários à sua definição. Isto inclui portanto, os segmentos de reta que constituem o perfil auxiliar, as linhas foco, os pontos e a zona de interdição formal. Após esta simplificação, a base geométrica de geração de forma ficará pronta para a terceira fase do processo de geração _ a introdução das regras locais.

_ *RCF93 – Exclusão dos segmentos de reta de linha contínua do perfil auxiliar.*

Retirar da base estrutural os segmentos de reta definidos por pontos localizados no perímetro do último nível de expansão (fig. 256 e 257).

RCF93



Fig. 256 – Descrição geométrica da regra RCF93.

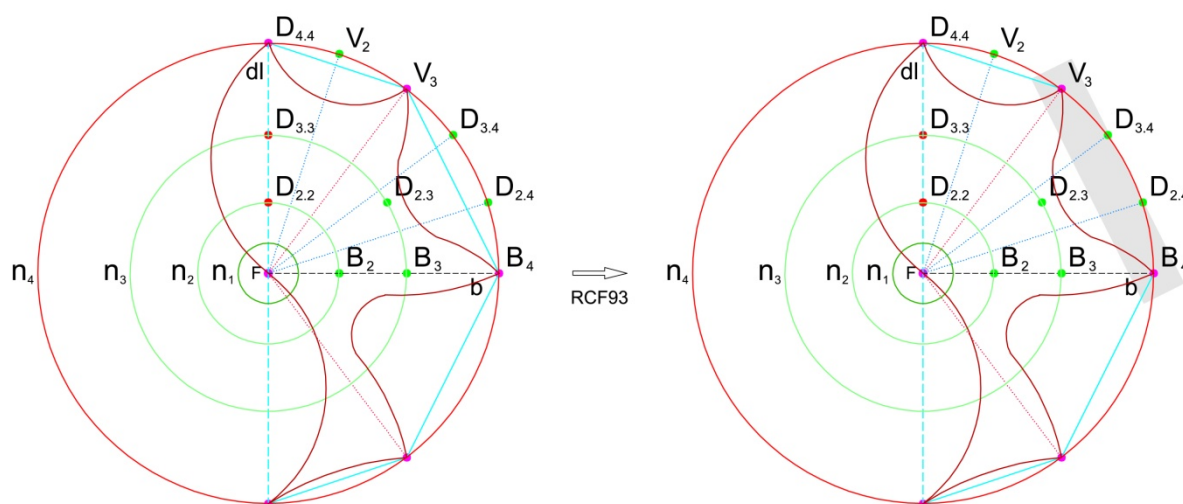


Fig. 257 – Exemplo de aplicação da regra RCF93.
Remoção do segmento de reta de linha contínua definida pelos pontos V_3 e B_4 .

_ *RCF94 – Exclusão dos segmentos de reta de linha tracejada do perfil auxiliar.*

Tirar da base estrutural os segmentos de reta do perfil auxiliar que não seja definido exclusivamente por pontos do último nível de expansão (fig. 258 e 259).

RCF94



Fig. 258 – Descrição geométrica da regra RCF94.

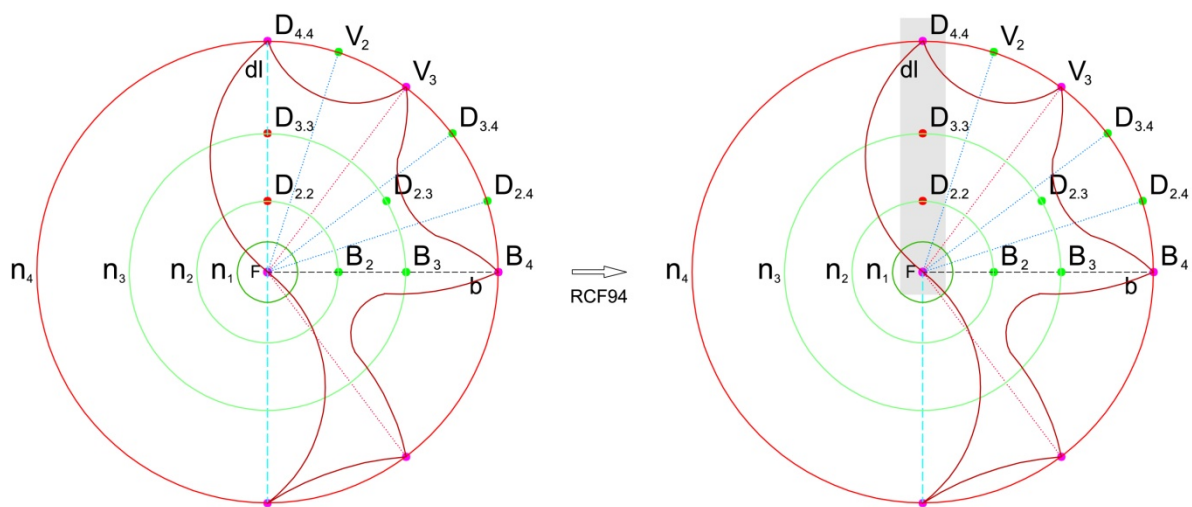


Fig. 259 – Exemplo de aplicação da regra RCF94.
Remoção do segmento de reta de linha tracejada definida pelos pontos F e $D_{4.4}$.

_ RCF95 – Exclusão das linhas de foco.

Retirar as linhas de foco que unem o ponto F aos pontos situados no último nível de expansão (fig. 260 e 261).

RCF95



Fig. 260 – Descrição geométrica da regra RCF95.

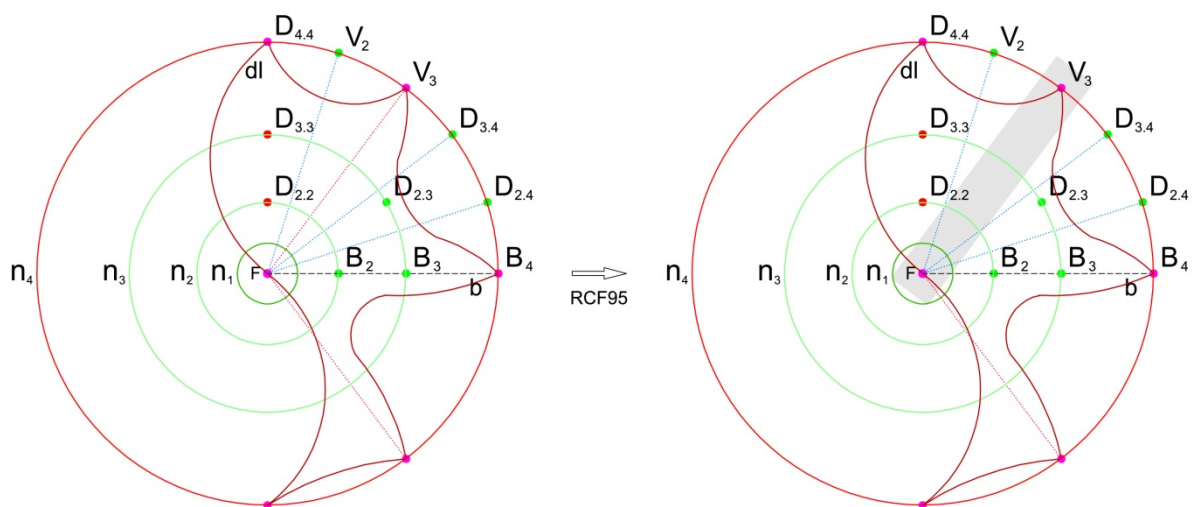


Fig. 261 – Exemplo de aplicação da regra RCF95.
Exclusão da linha de foco definida pelos pontos F e $D_{3.4}$.

_ RCF96 – Exclusão do segmento de reta referencial dl.

Durante o processo de definição do perfil auxiliar, algumas partes do segmento de reta dl tornam-se parte desse mesmo perfil, fazendo com que o segmento de reta dl se fracture em diversos segmentos de reta. Esta regra visa então, à remoção desses “troços” do segmento de reta dl original (fig. 262 e 263).

RCF96 dl →

Fig. 262 – Descrição geométrica da regra RCF96.

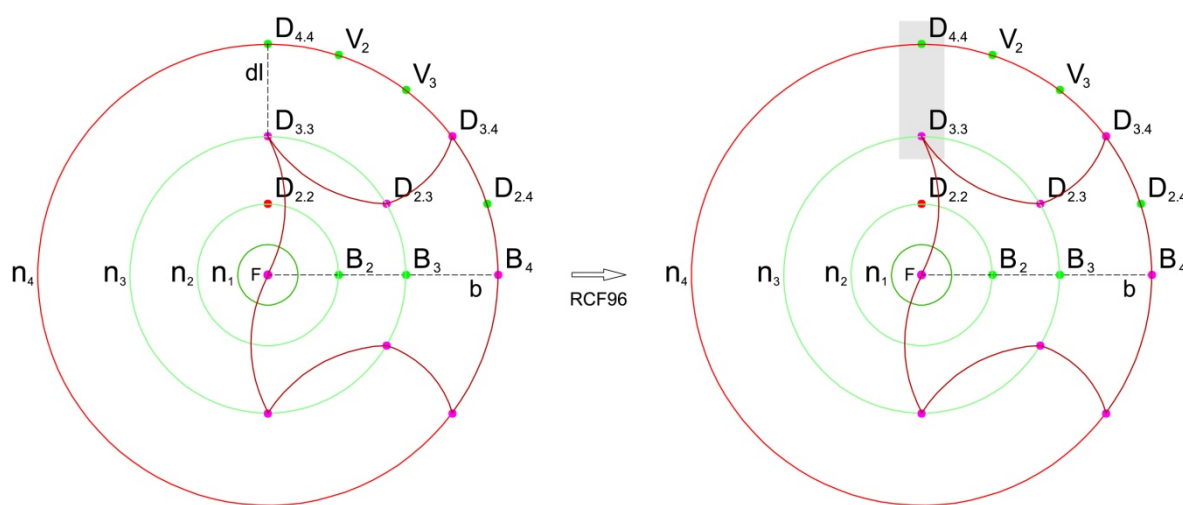


Fig. 263 – Exemplo de aplicação da regra RCF96.
Exclusão do segmento de reta dl definido pelos pontos D_{3.3} e D_{4.4}.

_ RCF97 – Retirar a designação dos pontos da grelha referencial.

A base estrutural contém nos seus níveis de expansão diversos pontos, os pontos originais e referenciais do “quadrante” definidor do contorno guia que contém designações, e os pontos resultantes da aplicação dos princípios de simetria, que não contém qualquer tipo de designação. Para uniformizar a saída de todos os pontos da base estrutural, os pontos com denominação, independentemente da cor com que se apresentem, mudam para a cor rosa e vão perder a sua denominação (fig. 264 e 265).

RCF97 $\begin{matrix} D_{i,i} \\ D'_{i,i} \\ D_{i,j} \\ V_i \\ -V_i \\ B_{a \text{ máx} - x} \end{matrix}$ → \bullet $\begin{matrix} i \geq 2 ; j \geq 3 ; a \geq 4 \\ j > i ; a > x \\ 1 \leq x \leq a-1 \\ a, i, j \wedge x \in \mathbb{N} \end{matrix}$

Fig. 264 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF97.

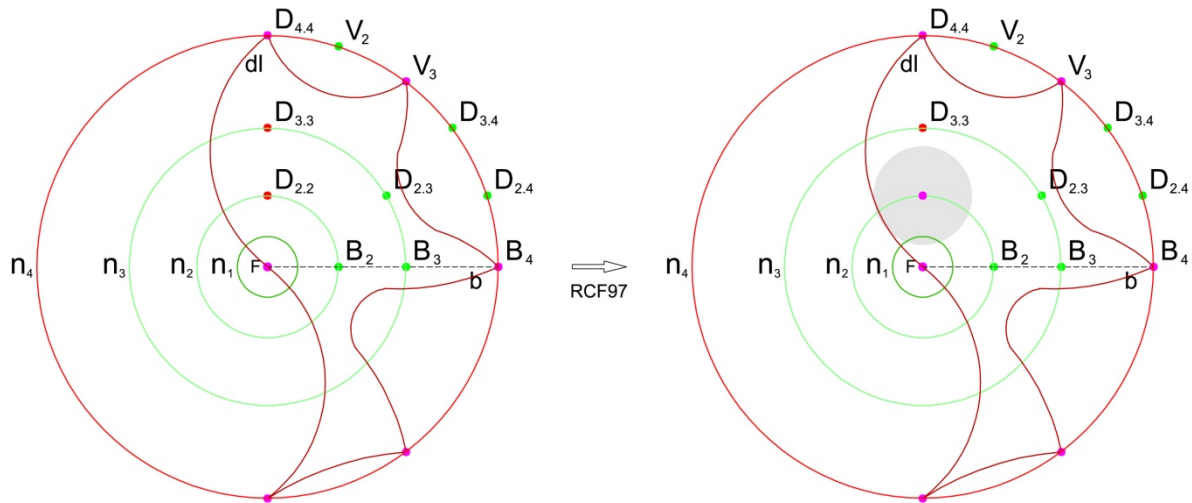


Fig. 265 – Exemplo de aplicação da regra RCF97.

_ RCF98 – Exclusão dos pontos.

Independente da cor com que os níveis de expansão se apresentem na base estrutural, os pontos rosa situados nos seus respectivos perímetros serão retirados (fig. 266 e 267).



Fig. 266 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF98.

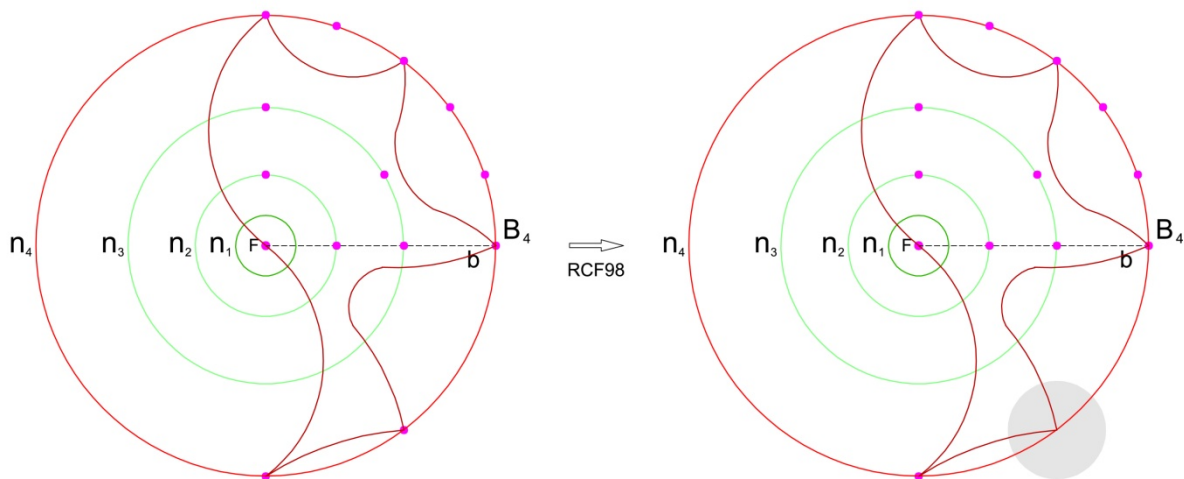


Fig. 267 – Exemplo de aplicação da regra RCF98.

– RCF99 – Exclusão da zona de interdição formal.

Durante o processo de geração do perfil auxiliar, a zona de interdição formal, serviu para informar que o perfil auxiliar não poderia conter apenas pontos da grelha que estivessem contidos nessa zona, senão as formas geradas não continham as proporções definidas como harmoniosas. Findo a definição do contorno guia, esta zona de interdição perde qualquer tipo de funcionalidade na base estrutural, procedendo-se assim, à sua remoção (fig. 268 e 269).

RCF99



Fig. 268 – Descrição geométrica e algébrica da regra RCF99.

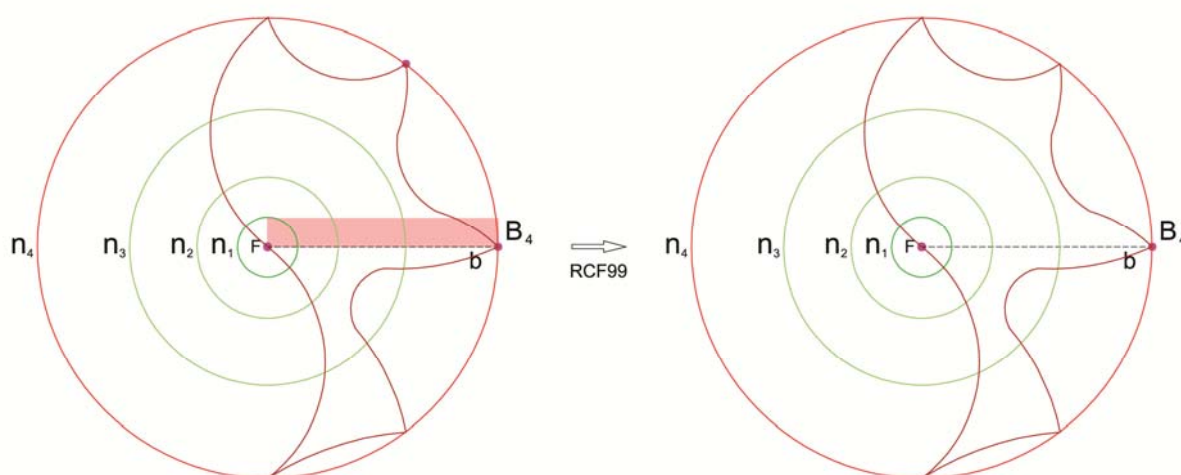


Fig. 269 – Exemplo de aplicação da regra RCF99.

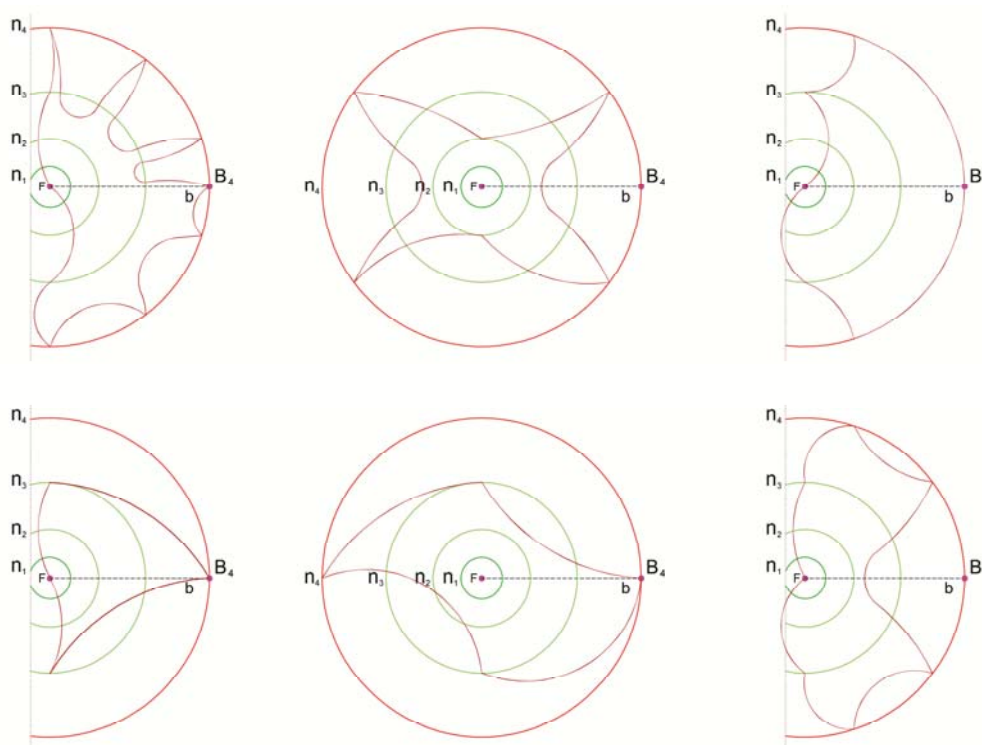


Fig. 270 – Exemplos de alguns tipos de configurações geométricas gerados pelas guias de controlo formal.

REGRAS LOCAIS

3.1 Definição da forma inicial

A composição geométrica dos elementos estruturais que irão dar corpo à forma são totalmente dependentes da caracterização geométrica da forma inicial. A sua definição na gramática requer determinados requisitos geométricos. Tem que ser uma forma fechada e as suas ordens de grandeza têm que estabelecer relações proporcionais dentro dos intervalos de valores definidos no ponto 3.2.1.2 (Variações proporcionais).

_ *RL1 – Localização dos pontos no perímetro de n_1 .*

Para definir a forma inicial, é necessário localizar no espaço os pontos base necessários à definição da malha auxiliar dos diagramas de Voronoi. Estes pontos devem ser todos eles localizados no perímetro do nível de expansão n_1 e unidos em continuidade por segmentos de reta. O número de pontos nunca deve ser inferior a cinco, devido à impossibilidade em se conseguir gerar formas fechadas e/ou irregulares. A sua disposição ao longo do perímetro deve ainda ter em conta a relação proporcional do comprimento dos segmentos de reta que os unem. Cada segmento de reta não deve ter um comprimento inferior a 1/4 ou 4 vezes superior ao comprimento dos segmentos de reta que lhes são adjacentes. O ponto F deve estar contido no interior do polígono gerado pela união dos pontos (fig. 271, 272 e 273).

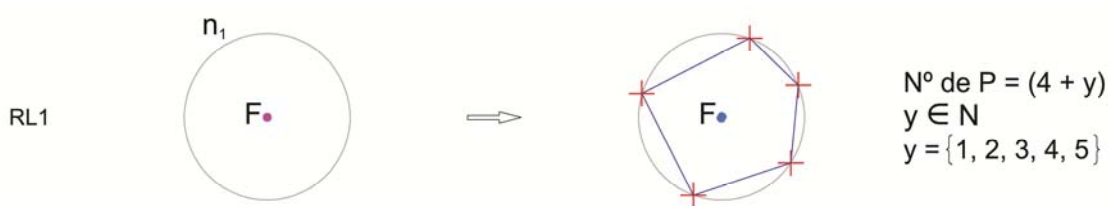


Fig. 271 – Descrição geométrica e algébrica da regra RL1

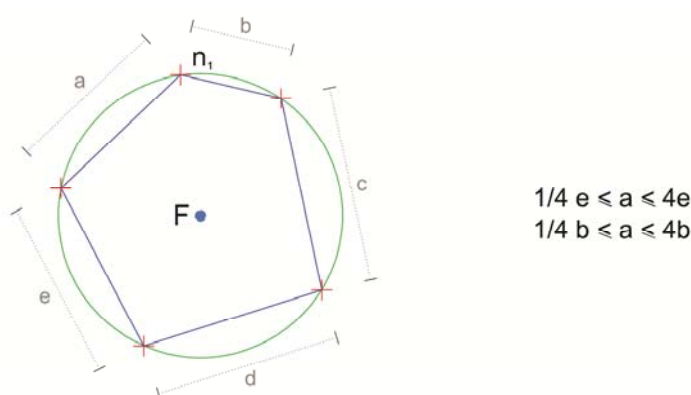


Fig. 272 - O comprimento de cada segmento de reta do polígono (a, b, c, d, e) não é inferior a 1/4 ou superior a 4 do comprimento dos segmentos de reta que lhes são adjacentes.

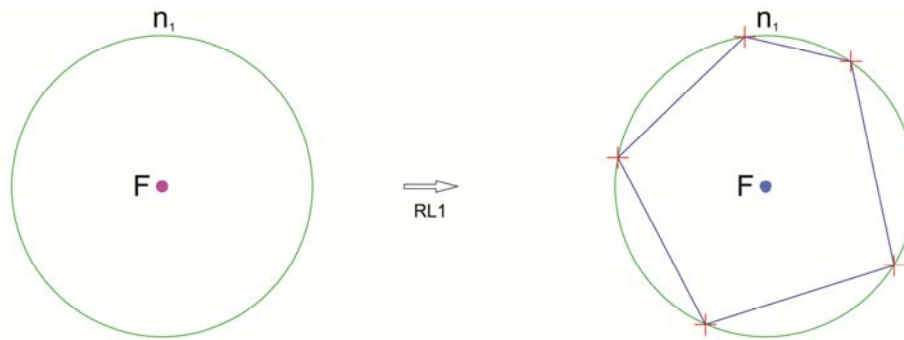


Fig. 273 – Exemplo de aplicação da regra RL1.

Inserção de cinco pontos sobre o perímetro do nível de expansão n_1 . União sucessiva dos mesmos por meio de segmentos de reta.

_ RL2 – União dos pontos **X** situados no perímetro de n_1 ao ponto F .

Como referido no ponto 4.2.3 (regras locais), a malha auxiliar de geração de diagramas de Voronoi opera sobre sistemas geométricos em triangulação. Para gerar a forma inicial, é necessário definir dentro do perímetro do nível de expansão n_1 , uma malha triangular. Essa malha será definida do seguinte modo: o ponto F (azul) une-se ao ponto **X** (vermelho) situado no perímetro de n_1 , por meio de um segmento de reta (azul). Esta regra deve ser repetida o número de vezes que for necessária até que todos os pontos **X** existentes no perímetro de n_1 se encontrem unidos ao ponto F (azul) (fig. 274, 275 e 276).

RL2



Fig. 274 – Descrição geométrica da regra RL2.

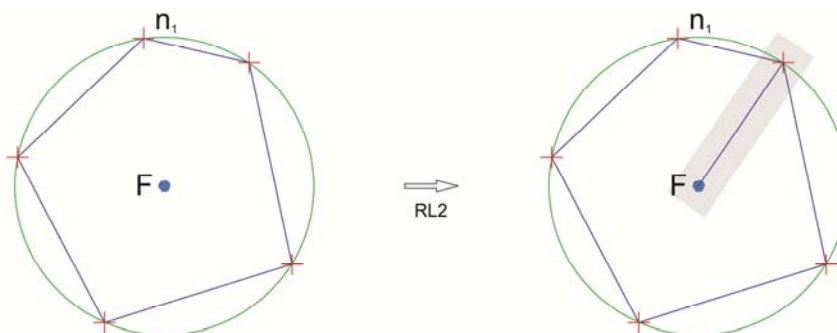


Fig. 275 – Exemplo de aplicação da regra RL2.

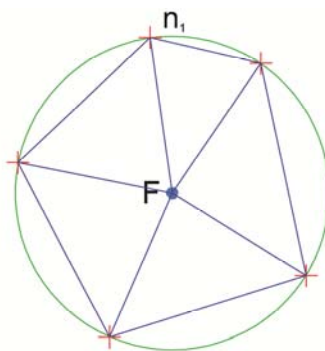


Fig. 276 - Exemplo de uma composição geométrica finda a aplicação da regra RL2.
A regra RL2 foi aplicada cinco vezes.

– RL3 – Definição do perímetro do polígono inicial.

A partir do ponto médio dos segmentos de reta azul definidos pelos pontos \times e pelo ponto F, é lançado na perpendicular a estes, uma semi reta rosa, direcionado para o espaço interno do triângulo referencial. Os segmentos de reta têm o seu termino no ponto de intersecção das mesmas, alterando as suas propriedade geométricas de semi reta para segmento de reta. Também, a partir do ponto médio do segmento de reta azul definido pelos dois pontos \times , será lançado uma reta rosa perpendicular a esta. Esta reta ao encontrar o ponto de intersecção das semi retas rosa, irá, alterar as suas qualidades geométricas de reta para semi reta. Para evitar uma continua repetição da regra na mesma descrição geométrica do lado A da regra, o segmento de recta definido pelos dois pontos \times situados no perímetro de n_1 , muda as suas propriedades geométricas, passando de uma linha continua azul a uma linha tracejada azul. A linha rosa perpendicular à linha tracejada azul é a única que ficará definida como semi-reta, com início no ponto de intersecção dos outros segmentos de reta rosa e expandindo-se para fora do perímetro de n_1 (fig. 277, 278 e 279).

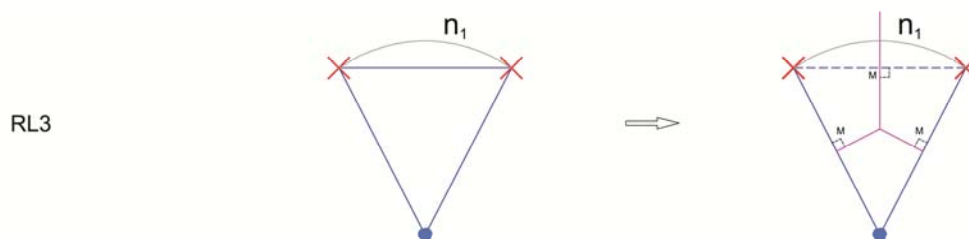


Fig. 277 – Descrição geométrica da regras RL3.

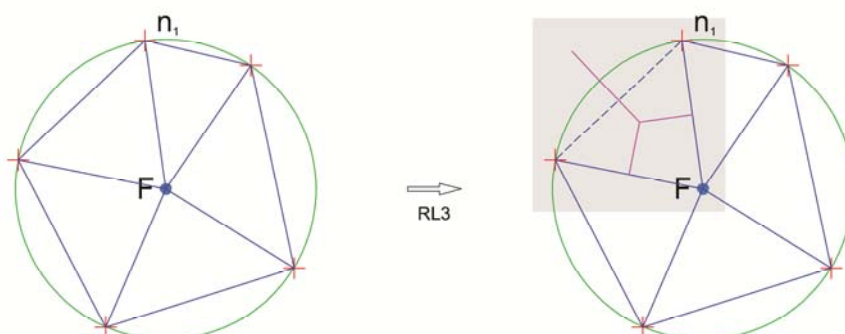


Fig. 278 – Exemplo de aplicação da regra RL3.

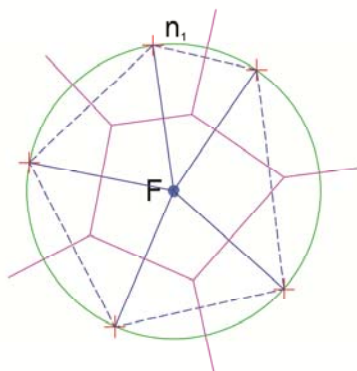


Fig. 279 - Exemplo de uma composição geométrica finda a aplicação da regra RL3.
A regra RL3 foi aplicada cinco vezes.

_ RL4 – Redefinição do perímetro do polígono inicial.

De modo a manter as relações proporcionais das formas estruturais da composição de acordo com os parâmetros definidos pela gramática, a intersecção dos dois segmentos de reta rosa e a semi reta rosa deve situar-se dentro do perímetro triangular referencial definido pelos pontos **X** e o ponto azul. Sempre que após a aplicação da regra RL3, esta premissa não se averiguar, deve proceder-se à redefinição das faces do polígono inicial a gerar. Para tal, será necessário introduzir um novo ponto **X** no perímetro de n_1 . A sua localização será no ponto de intersecção da semi reta rosa e o perímetro do nível de expansão n_1 . Definido o ponto, proceder-se-á à união do mesmo com todos os pontos presentes na triangulação referencial anterior. Desta união resultará uma nova malha triangular, onde poderá ser novamente aplicada a regra RL3 (fig. 280 e 281).

RL4

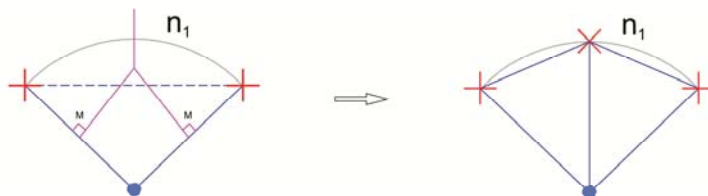


Fig. 280 – Descrição geométrica da regra RL4.

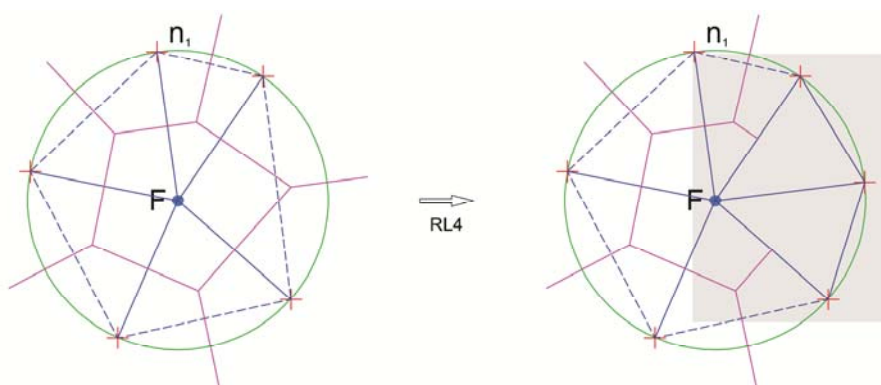


Fig. 281 – Exemplo de aplicação da regra RL4.

Finda a redefinição da malha auxiliar, a aplicação da regra RL3 nos triângulos vazios, concluirá a definição das arestas do polígono inicial.

3.2 Expansão a partir da forma inicial

Definida a forma inicial, inicia-se a expansão da estrutura. As características geométricas da forma inicial influenciarão as propriedades geométricas de todos os elementos estruturais gerados, bem como a sua localização na composição. A transferência das propriedades geométricas da forma inicial para os restantes elementos estruturais requer determinados requisitos geométricos. Estes são especificados pelas regras que se seguem (RL5 a RL14).

_ RL5 – Definição dos pontos **X** no nível ou subnível de expansão seguinte.

Sempre que as semi retas rosa intersetem o perímetro do nível de expansão seguinte à sua origem, quer ele seja um nível ou subnível de expansão, é identificado um ponto **X**. Este ponto é posteriormente unido por segmentos de reta azul aos pontos **X** que definem o segmento de reta azul tracejado, tendo este último a particularidade de ser o segmento de reta referencial da semi reta rosa que deu origem ao novo ponto **X** definido (fig. 282 e 283).

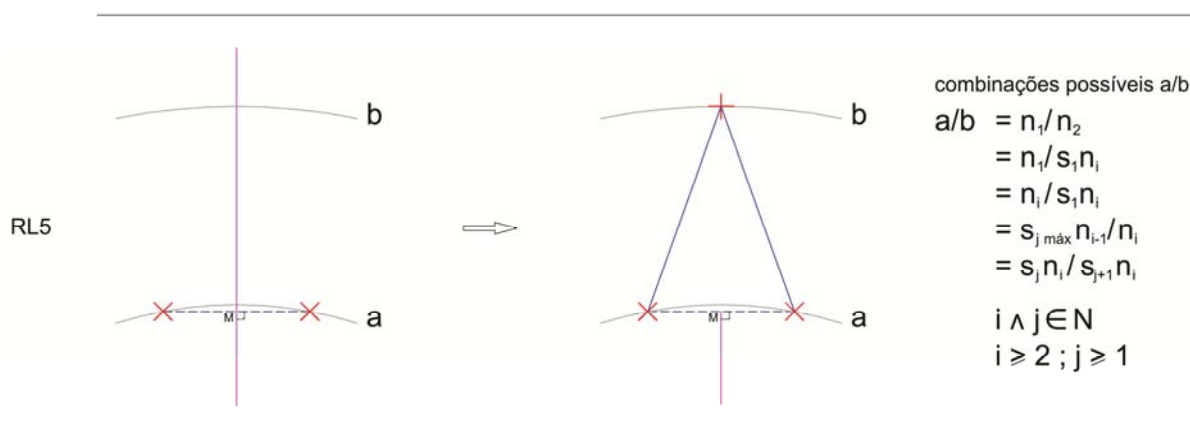


Fig. 282 – Descrição geométrica e algébrica da regra RL5.

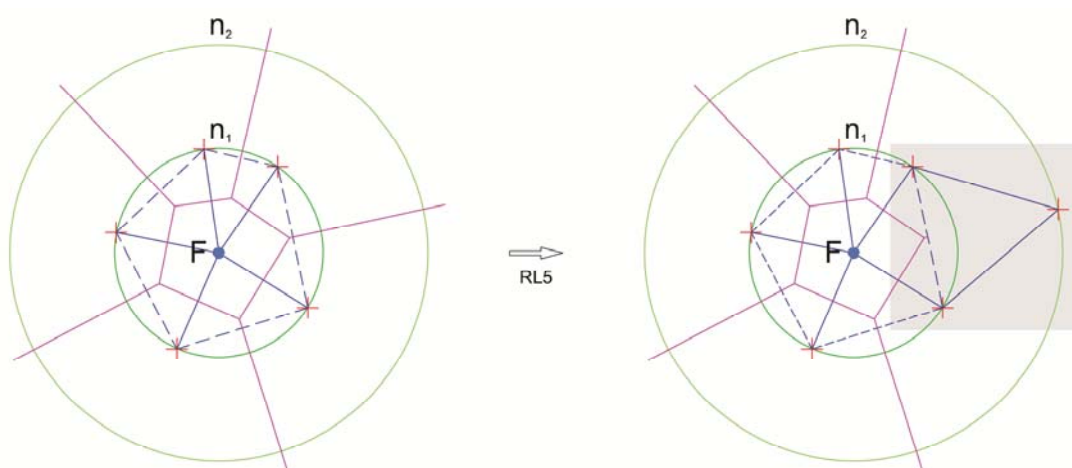


Fig. 283 – Exemplo de aplicação da regra RL5.

_ *RL6 – União dos pontos **X** localizados no mesmo nível ou sub-nível de expansão.*

A aplicação da regra RL5 em todas as semi retas rosa que interseam o perímetro de circunferência do nível ou subnível de expansão seguinte ao perímetro de circunferência de onde são originárias, gera uma malha triangulada no intervalo de expansão seguinte, mas com a particularidade de a malha apresentar de um modo alternado triângulos fechados e abertos. Para prosseguir a expansão estrutural da composição mediante diagramas de Voronoi, os triângulos da malha triangular devem ser todos eles fechados. Assim sendo, deve proceder-se à união dos pontos **X**, situados no mesmo perímetro de circunferência, mediante um segmento de reta azul (fig. 284 e 285).

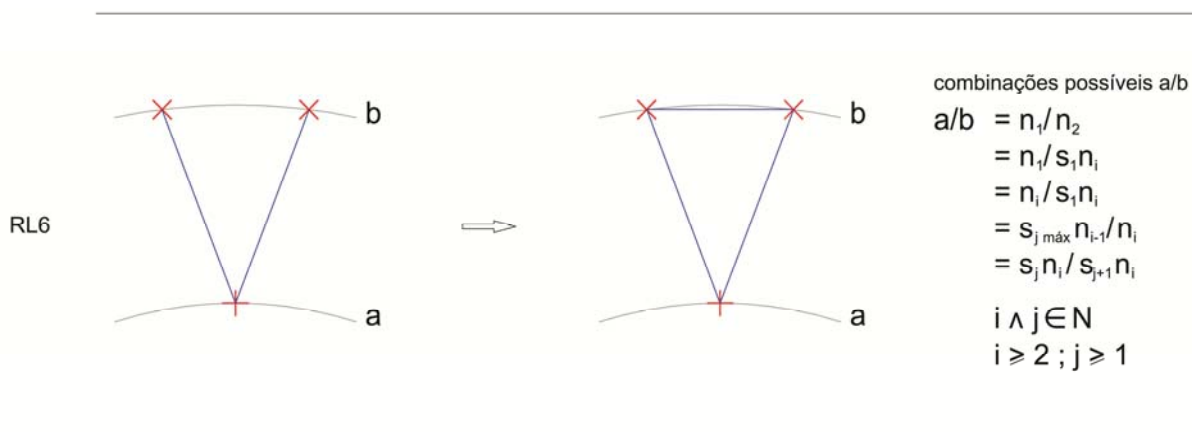


Fig.284 – Descrição geométrica e algébrica da regra RL6.

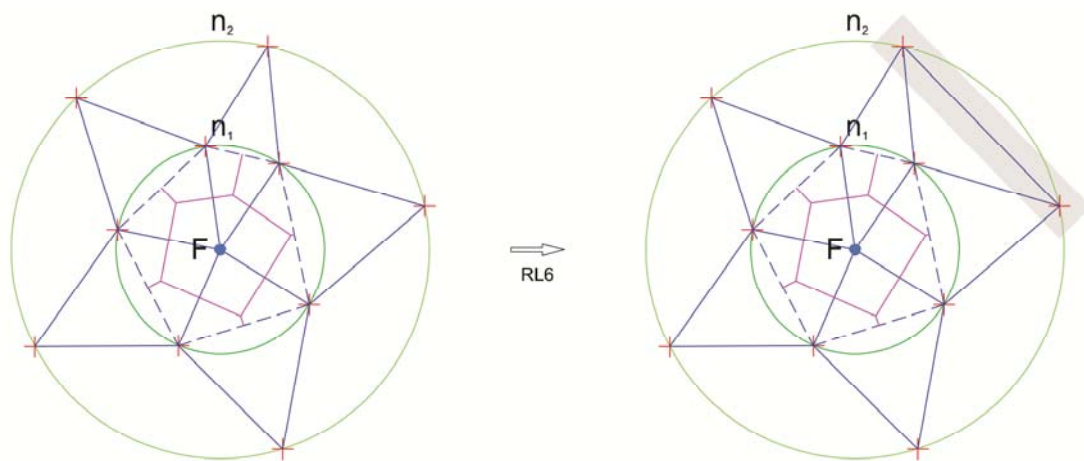


Fig. 285 – Exemplo de aplicação da regra RL6.

_ *RL7 – Definição do perímetro dos polígonos estruturais.*

Sempre que a composição geométrica apresentar malhas triangulares fechadas, é possível começar a definir o perímetro dos polígonos estruturais. Neste caso, o perímetro do triângulo referencial é composto por dois segmentos de recta azul com linha contínua e outro com linha tracejada. Em perímetros triangulares com estas características, são lançadas na perpendicular e a partir do ponto médio que cada um destes segmentos, uns outros de cor rosa e de linha contínua. Esses segmentos de recta devem ser direccionados para o espaço interior do triângulo de referência e terão o seu termino no ponto de intersecção comum. Para evitar uma continua repetição da regra na

mesma descrição geométrica do lado A da regra, o segmento de recta definido pelos dois pontos **X** situados no perímetro de “a”, muda as suas propriedades geométricas, passando de uma linha tracejada azul a uma linha pontuada azul (fig. 286 e 287).

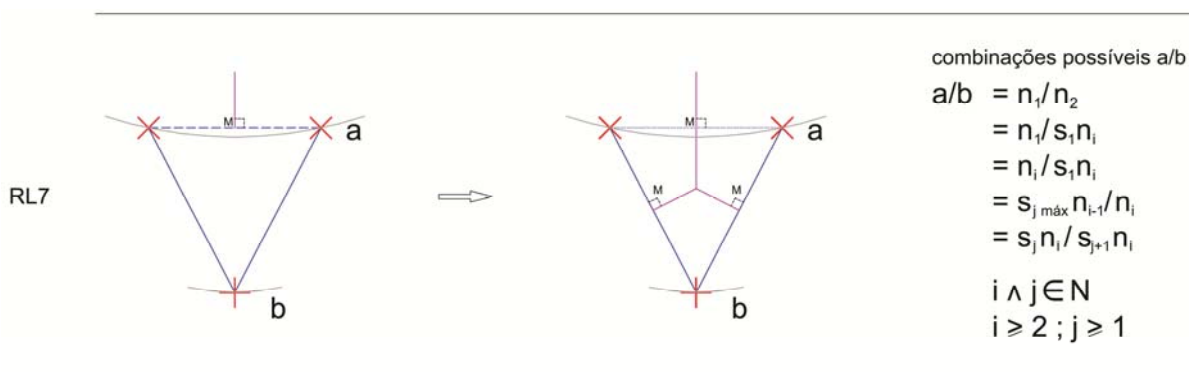


Fig. 286 – Descrição geométrica e algébrica da regra RL7.

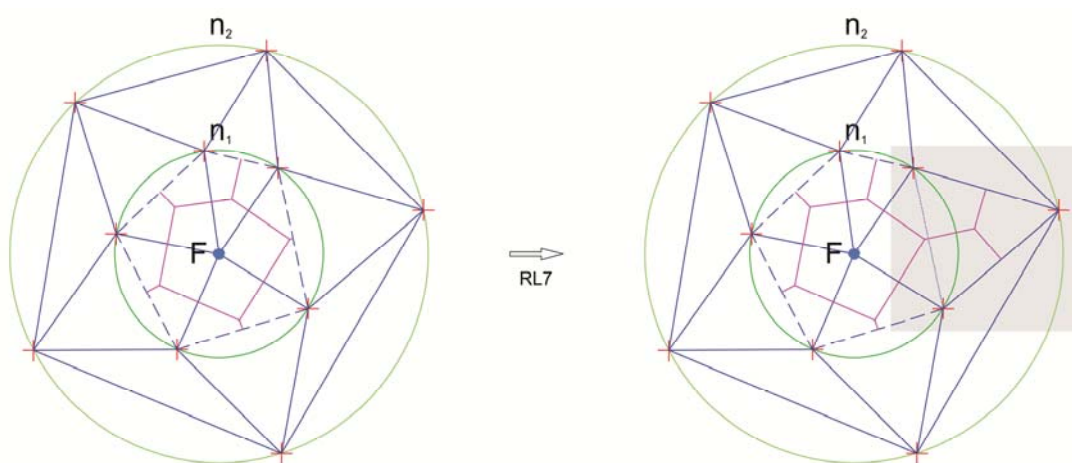


Fig. 287 – Exemplo de aplicação da regra RL7.

RL8 – Definição do perímetro dos polígonos estruturais.

Dentro da linha de continuidade da regra anterior (RL7), um outro perímetro triangular de características geométricas ligeiramente distintas, pode surgir nas malhas triangulares da composição geométrica. Apesar de distinto, também permite definir o perímetro dos polígonos estruturais, mas de um modo ligeiramente diferente da regra RL7. Este perímetro triangular referencial é composto por três segmentos de recta de linha contínua azul. Do ponto médio do segmento de recta de linha contínua azul, definido pelos pontos **X** localizados no perímetro da circunferência de b, será lançada a uma recta de linha contínua rosa. Dos restantes segmentos de recta de linha contínua azul, outros de linha contínua rosa, serão lançados na perpendicular aos primeiros a partir do seu ponto médio e direccionados para o espaço interior do triângulo referencial. O seu termino será no ponto de intersecção da recta e segmentos de recta de linha contínua rosa. Como resultado desta intersecção, a recta de linha contínua rosa sofrerá uma transformação, passando a semi-recta. Para evitar uma contínua repetição da regra na mesma descrição geométrica do lado A da regra, o segmento de recta definido pelos dois pontos **X** situados no perímetro de b, muda as suas propriedades geométricas, passando de uma linha contínua azul a uma linha tracejada azul (fig. 288 e 289).

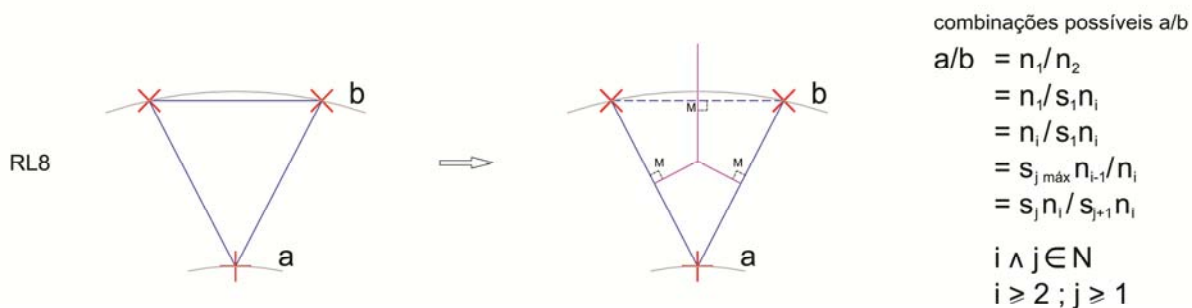


Fig. 288 – Descrição geométrica e algébrica da regra RL8.

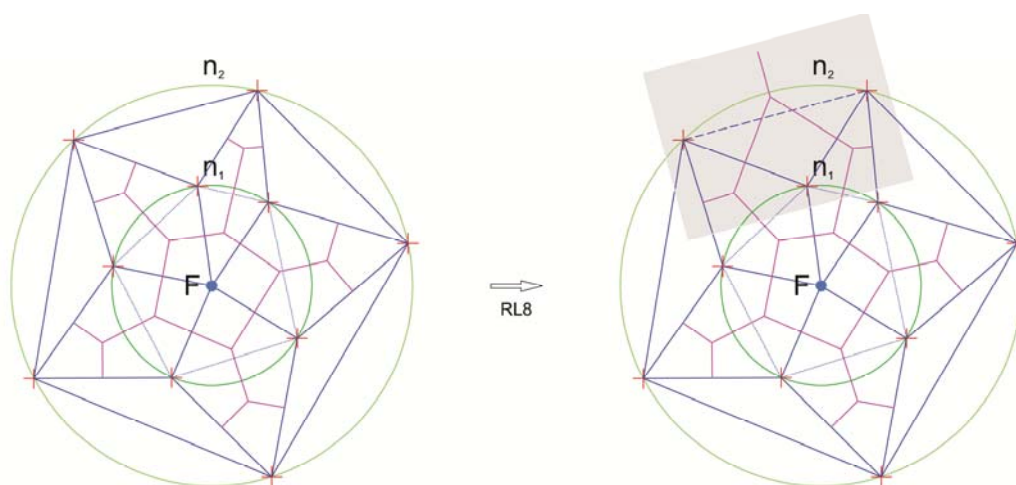


Fig. 289 – Exemplo de aplicação da regra RL8.

_ RL9 – Redefinição do perímetro dos polígonos estruturais.

Sempre que, após a aplicação da regra RL8, o ponto de intersecção entre os dois segmentos de reta rosa e a semi-reta rosa se localizar fora do perímetro triangular referencial, a malha triangular deve ser redefinida nesse local mediante uma subdivisão do espaço triangular existente. Para se proceder a essa subdivisão é necessário localizar um novo ponto **X** em b. A localização deste ponto será na intersecção entre o perímetro da circunferência b e a semi reta rosa. Em caso da semi-reta rosa não intersear b, deve imaginar-se a sua extensão até ao seu referencial geométrico, ou seja, até ao segmento de reta tracejado azul definido pelos pontos **X** localizados no perímetro de b. Definido o ponto, proceder-se-á à união do mesmo com todos os pontos presentes na triangulação anterior à subdivisão. Desta união, resultará uma nova malha triangular, onde poderá ser novamente aplicada a regra RL8 (fig. 290, 291 e 292).

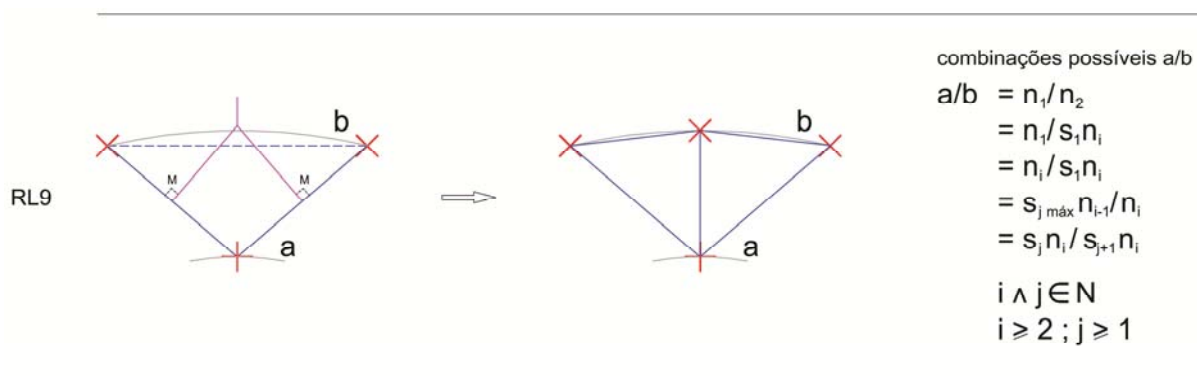


Fig. 290 – Descrição geométrica e algébrica da regra RL9.

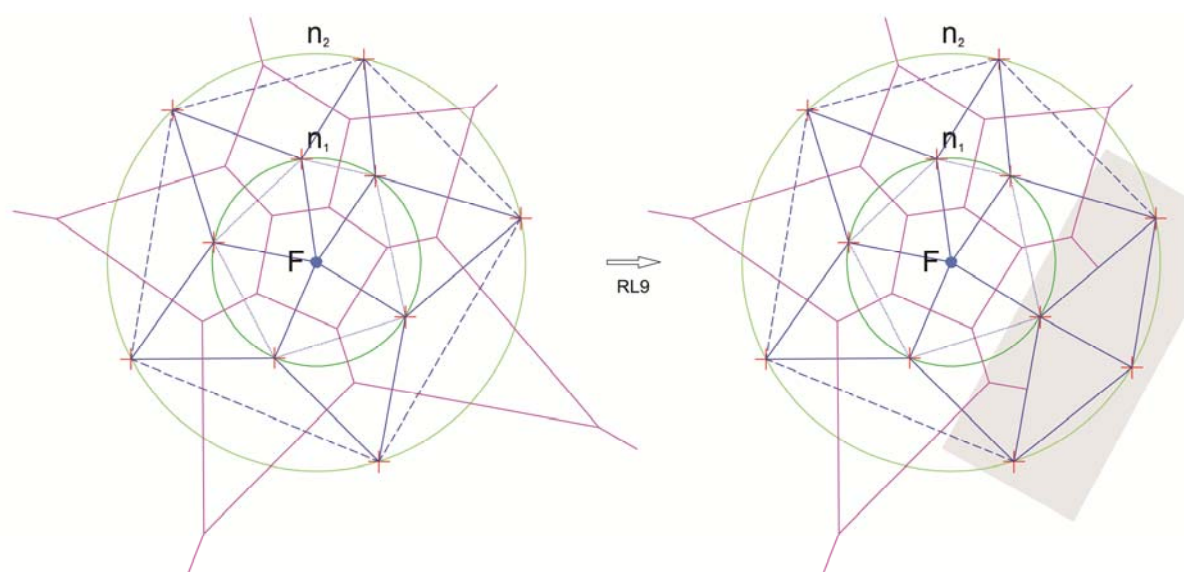


Fig. 291 – Exemplo de aplicação da regra RL9.

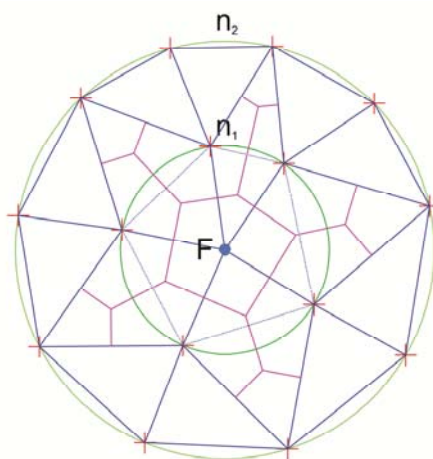


Fig. 292 – Exemplo de uma composição geométrica finda a aplicação da regra RL9.

– RL10 – Definição do perímetro dos polígonos sem continuidade estrutural.

Esta regra tem como objetivo terminar a expansão estrutural da forma. O perímetro triangular referencial define o fecho do perímetro de polígonos já lançados, mas já não lança as bases geométricas para a construção de outros como sucedia na regra RL8, quando a semi reta de linha contínua rosa era lançada a partir do ponto médio do segmento de reta de linha tracejada azul (fig. 293).

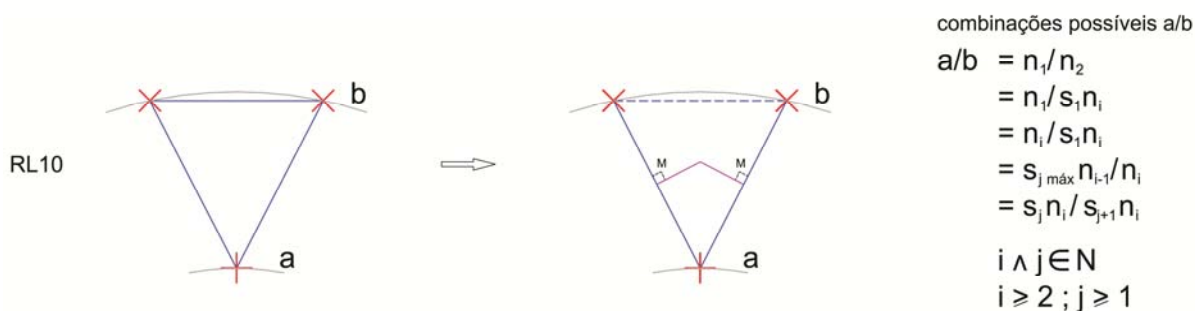


Fig. 293 – Descrição geométrica e algébrica da regra RL10.

A aplicação desta regra pode ocorrer em duas situações distintas:

- 1) Sempre que a expansão estrutural atinge o último intervalo de expansão, ou seja, quando as malhas trianguladas de definição do perímetro dos polígonos são definidas com base num nível de expansão de cor vermelha e num subnível de expansão de cor laranja (fig.294).
- 2) Quando os polígonos estruturais começam a estar localizados completamente fora da área interior circunscrita pelas linhas guia de controlo formal, mas desde que estas não sejam mais necessárias à expansão de outros polígonos estruturais dentro da área circunscrita pelas linhas guia (fig. 295).

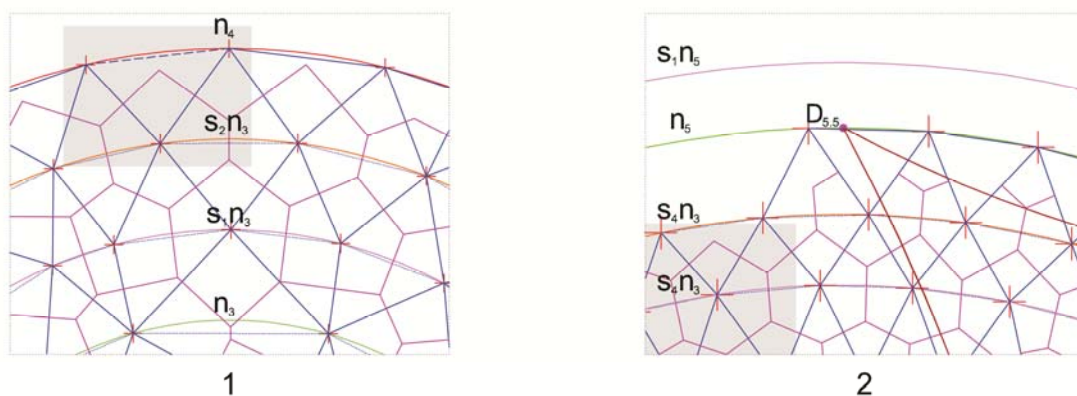


Fig. 294 – As duas situações em que a regra pode ser aplicada _ exemplos.

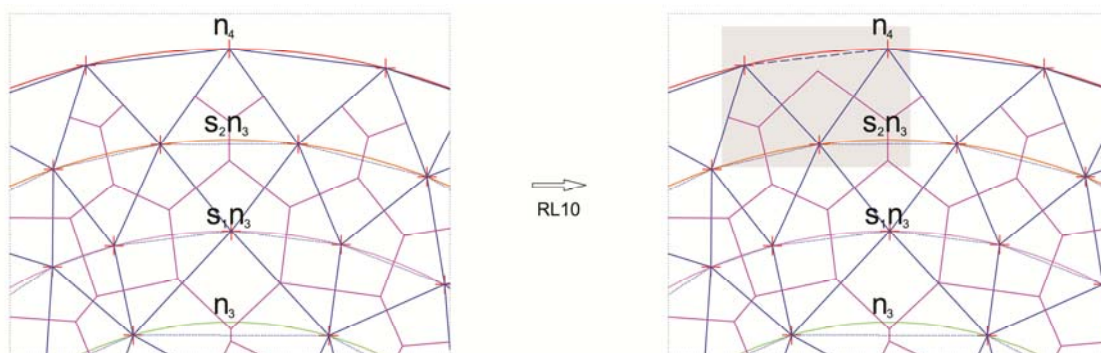


Fig. 295 – Exemplo de aplicação da regra RL10.

_ *RL11 – Redefinição do perímetro dos polígonos sem continuidade estrutural.*

Mesmo quanto, a expansão estrutural atinge o seu termino, se o ponto de intersecção dos segmentos de linha contínua rosa não ficarem situados dentro do perímetro triangular de referência, esta zona da malha triangular terá também que ser redefinida (fig. 296 e 297).

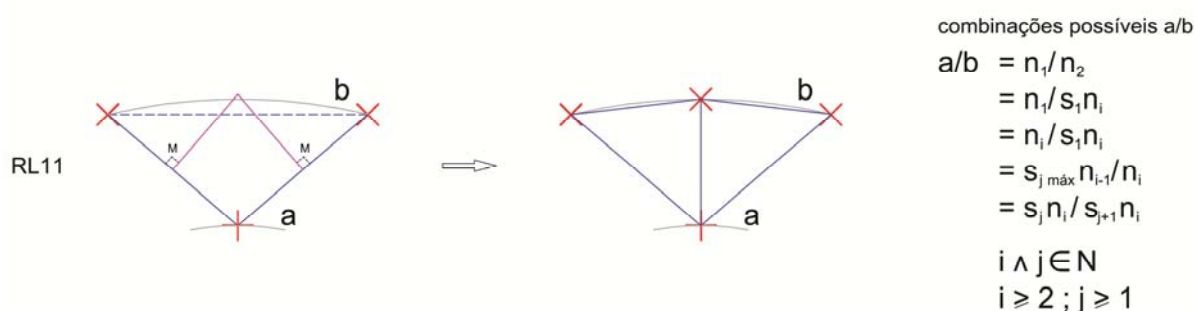


Fig. 296 - Descrição geométrica e algébrica da regra RL11.

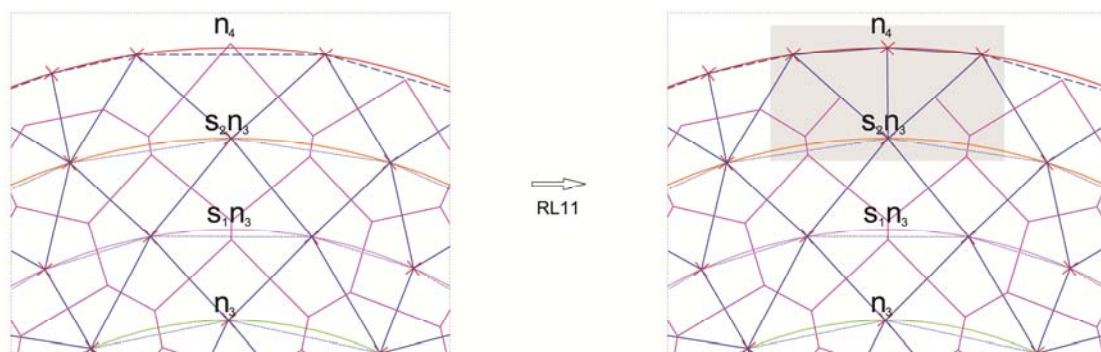


Fig. 297 – Exemplo de aplicação da regra RL11.

– *RL12 – Redefinição do perímetro dos polígonos estruturais com continuidade seletiva.*

A definição das linhas guia de controlo formal têm um objetivo informativo face às regras locais. Ao delimitarem o perímetro de uma forma pretendida, elas informam que a geração de formas estruturais para lá do seu domínio e que não tenham implicações noutras de possam revelar-se dentro do seu perímetro, não necessitam de ser geradas. Portanto, a geração das malhas triangulares e respetivos troços de polígono estrutural a ela associados, podem ir sendo direcionados de um modo aproximado, ao perímetro das linhas guia. Assim sendo, os triângulos referenciais, podem interromper a continuidade de geração de outros polígonos estruturais, quando um dos segmentos de reta de linha contínua do seu perímetro, não é referência na geração de um segmento de reta do polígono estrutural.

Esta regra é uma derivação da regra RL7, portanto, o procedimento de geração dos perímetros dos polígonos estruturais é em tudo idêntico ao efetuado na regra RL7 (fig. 298 e 299).

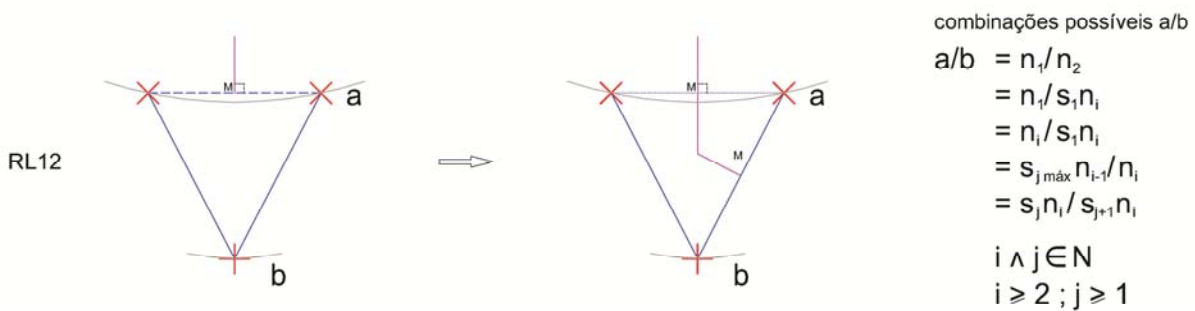


Fig. 298 – Descrição da geométrica e algébrica.

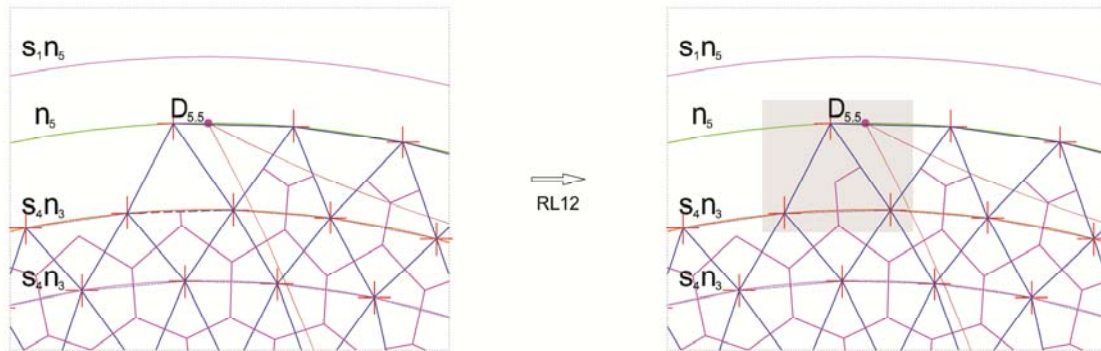


Fig. 299 – Exemplo de aplicação da regra RL12.

– *RL13 – Redefinição do perímetro dos polígonos estruturais, devido à presença de dois pontos de intersecção de segmentos de reta no interior de um perímetro triangular de referência.*

Existem situações em que os segmentos de reta correspondentes ao perímetro de um polígono estrutural, encontram o seu ponto de intersecção no interior do perímetro de um triângulo referencial, no intervalo ou subintervalo de expansão que o antecede. Neste tipo de casos, o perímetro do polígono estrutural tem que ser redefinido, mediante a alteração da malha triangular auxiliar. O perímetro triangular referencial gerador dos segmentos de reta rosa invasores, deve desaparecer por completo, enquanto que o perímetro triangular referencial que foi invadido, deve ser subdividido em partes iguais, através da colocação de um ponto X, no nível ou subnível de expansão

referenciado na regra como b. Os restantes pontos X, devem unir-se a este novo ponto, mediante segmentos de reta de linha azul, de modo a definir o perímetro dos novos triângulos referenciais (fig. 300 e 301).

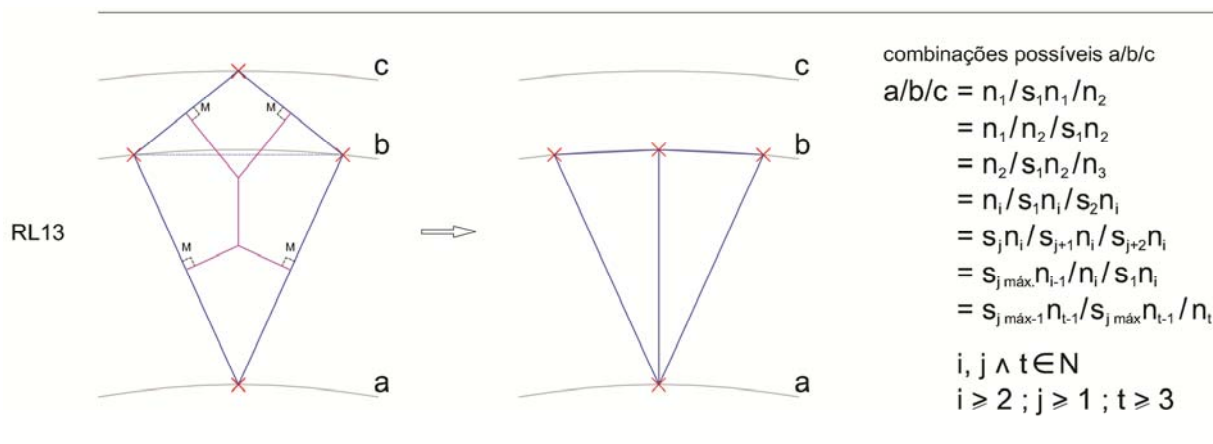


Fig. 300 – Descrição geométrica e algébrica da regra RL13.

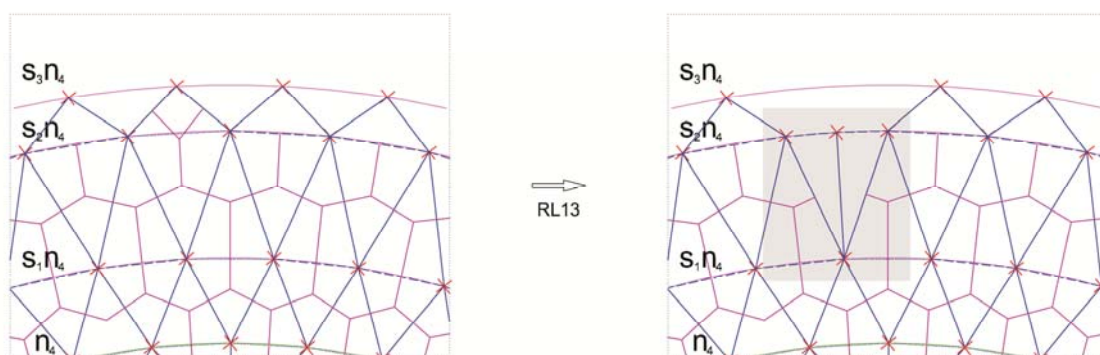


Fig. 301 – Exemplo de aplicação da regra RL13.

3.3 Definição do perímetro dos polígonos estruturais para a geração de efeito de oscilação.

Quando a base estrutural é definida mediante um efeito de gradação por oscilação, a determinação do perímetro dos polígonos estruturais pode ser feita mediante outra variante. Nas zonas dos intervalos de expansão, onde o efeito de oscilação apresenta uma gradação crescente, ou seja, quando a ordem de grandeza de um subintervalo de expansão é maior que a do subintervalo de expansão que o antecede, o perímetro do polígono, pode ser definido a partir das propriedades geométricas dos perímetros de três formas estruturais definidas no subintervalo de expansão anterior. O objetivo desta variante na definição dos polígonos, é fazer com que o aumento da ordem de grandeza dos subintervalos de expansão, influencie a ordem de grandeza dos polígonos estruturais, não só no sentido radial da expansão, mas também no sentido transversal a este (fig. 302).

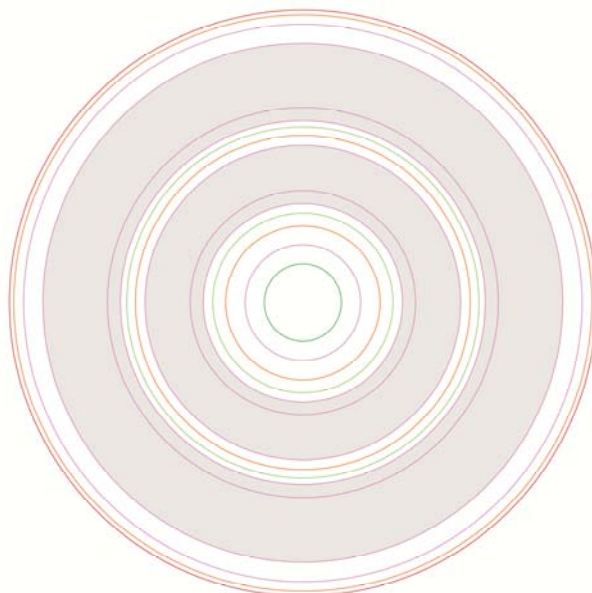


Fig. 302 – Zonas de graduação crescente (cinza) nos intervalos de expansão.

_ RL14 – Definição de polígonos estruturais a partir de 3 perímetros de polígonos estruturais distintos _ regra para efeito de oscilação.

A definição dos perímetros dos elementos estruturais gerados sobre estas imposições geométricas, requer a definição de um perímetro referencial auxiliar, não em forma triangular, mas sim, em forma trapezoidal. Assim sendo, o primeiro passo, passa por transformar as zonas da malha triangular em malhas com elementos trapezoidais. Para tal, é necessário selecionar um conjunto de três triângulos referenciais sequenciais no mesmo intervalo ou subintervalo de expansão, em que três dos pontos **X** que definem essa malha, estejam situados no nível ou subnível de expansão que delimita o intervalo ou subintervalo de expansão, mais distante do centro da composição e outros dois, no nível ou subnível de expansão que o antecede. Dos três pontos referenciados no nível ou subnível de expansão mais afastado do centro, o ponto do meio deixa de ser estruturante na definição da malha, passando este a ser definido por um segmento de reta tracejado azul que une os dois pontos extremos. Os segmentos de reta que unem este mesmo ponto a outros pontos **X** do nível ou subnível de expansão antecedente serão retirados. Definido o perímetro trapezoidal referencial, serão lançados dos dois segmentos de reta de linha contínua do seu perímetro, um segmento de reta rosa perpendicular a estes e a partir do seu ponto médio. Onde estes dois segmentos de reta de interseção na zona definida pelo perímetro do trapézio referencial é definido o outro ponto de delimitação desses segmentos de reta. Sequencialmente, é lançada uma semi reta rosa, cujo ponto de arranque, é o ponto de intersecção dos dois segmentos de reta rosa. Esta semi reta deve ainda contemplar outras qualidades espaciais. Deve ser perpendicular ao segmento de reta de linha tracejada do perímetro trapezoidal referencial e deve interseccionar o ponto médio da mesma.

Simultaneamente, a aplicação da regra deve efetuar uma outra transformação. O segmento de reta de linha tracejada azul delimitada por dois pontos **X** no nível ou subnível de expansão do intervalo ou subintervalo de expansão mais próximo do centro gerador detém um segmento de reta rosa na sua perpendicular e delimitado no seu ponto médio. Deste mesmo segmento de reta rosa, arrancam outros dois que devem ser anulados e transformados num único segmento de reta rosa delimitado por cada um dos extremos do segmento, que não o que está em contato com o segmento de reta do perímetro trapezoidal referencial. Quanto ao que está em contacto com o trapézio referencial, será também retirado da composição geométrica (fig. 303 e 304).

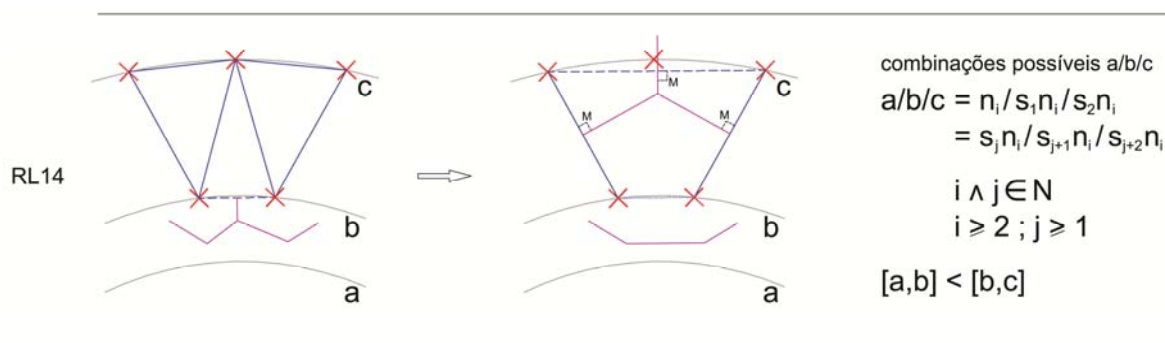


Fig. 303 – Descrição geométrica e algébrica da regra RL14.

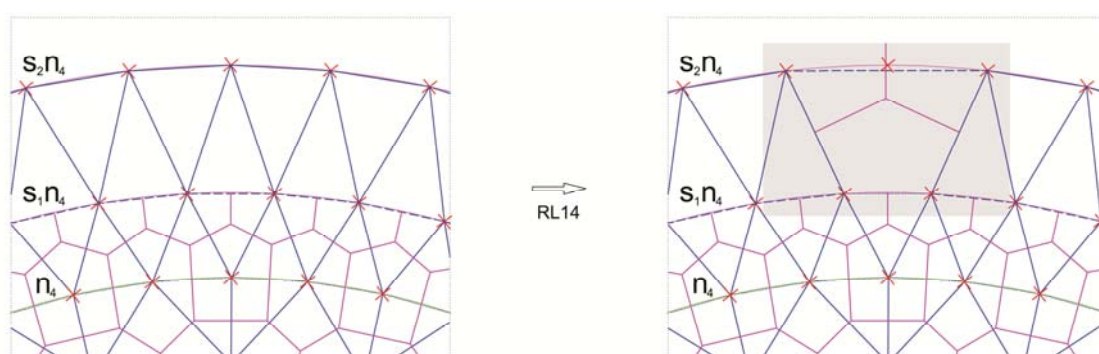


Fig. 304 – Exemplo de aplicação da regra RL14.

_ RL15 – Redefinição do perímetro dos polígonos estruturais.

Em alguns casos, pode suceder que o ponto de intersecção entre os segmentos de reta rosa e a semi reta rosa não esteja localizado na zona interior ao perímetro do trapézio referencial. Nestas situações, os perímetros dos polígonos estruturais devem ser redefinidos. A sua redefinição, também implica uma redefinição do perímetro dos elementos referenciais. Assim sendo, o ponto **X** deixado inativo (ver regra RL14) no nível ou subnível de expansão, referenciado na regra por “c”, volta a reintegrar a definição do perímetro de um elemento estrutural. Este irá unir-se a todos os pontos que definem o perímetro do trapézio referencial através de segmentos de reta de linha traceja. Esta união subdivide a forma trapezoidal de referência em três triângulos. Feita a triangulação, a definição do perímetro do polígono é feita do seguinte modo. A partir do ponto médio do segmento de reta de linha contínua azul é lançada uma semi reta rosa. Simultaneamente a partir do segmento de reta de linha tracejada azul, definida por dois pontos situados no mesmo nível ou subnível de expansão, é lançada uma reta rosa. Onde a semireta e a reta rosa se encontram, é definido um ponto de intersecção a partir do qual mais nenhuma delas se expande, transformando a primeira num segmento de reta e a segunda numa semi reta. Se este procedimento for realizado nos dois triângulos referenciais das extremidades, serão definidos dois pontos de intersecção. Estes pontos serão unidos entre si, mediante um segmento de reta rosa (fig. 305 e 306).

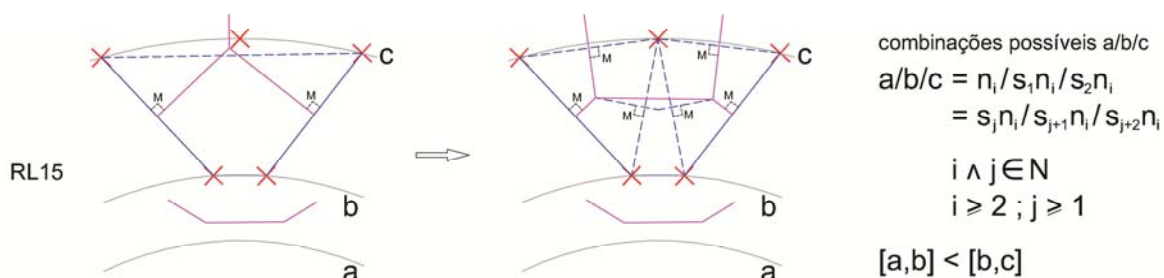


Fig. 305 – Descrição geométrica e algébrica da regra RL15.

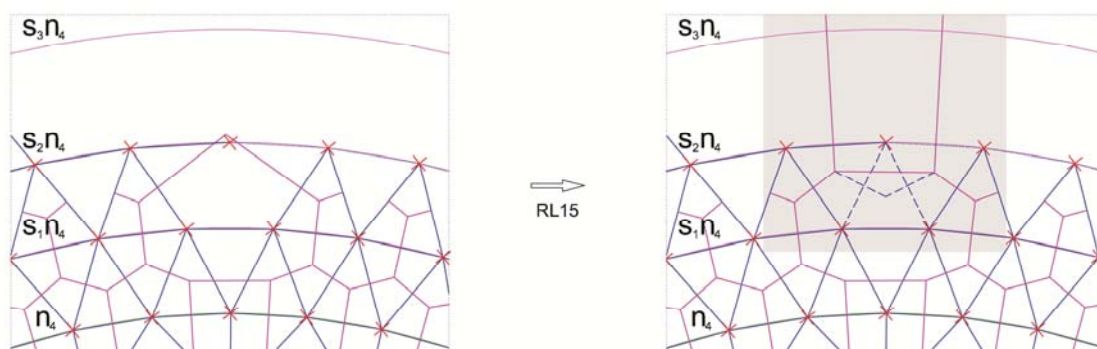


Fig. 306 – Exemplo de aplicação da regra RL15.

– *RL16 – Redefinição do perímetro dos polígonos estruturais, devido à presença de dois pontos de intersecção de segmentos de reta no interior de um perímetro de referência trapezoidal.*

Existem situações em que os segmentos de reta correspondentes ao perímetro de um polígono estrutural encontram o seu ponto de intersecção no interior do perímetro de um triângulo referencial, no intervalo ou subintervalo de expansão que o antecede. Neste tipo de casos, o perímetro do polígono estrutural tem que ser redefinido, mediante a alteração da malha trapezoidal auxiliar. O perímetro referencial triangular, gerador dos segmentos de reta rosa invasores, deve desaparecer por completo, enquanto que o perímetro referencial trapezoidal que foi invadido deve ser redefinido mediante a introdução do seu ponto inativo (ver regra RL14). Todo o restante procedimento para redefinir o perímetro das formas estruturais é idêntico ao descrito na regra RL15 (fig. 307 e 308).

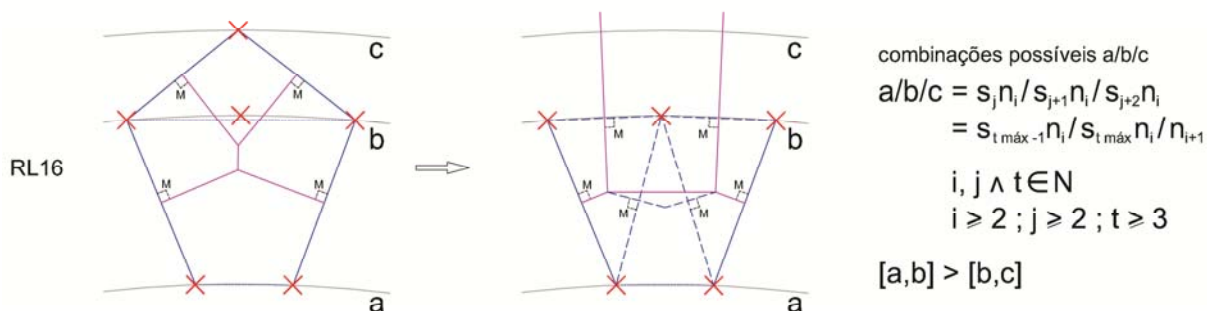


Fig. 307 – Descrição geométrica e algébrica da regra RL16.

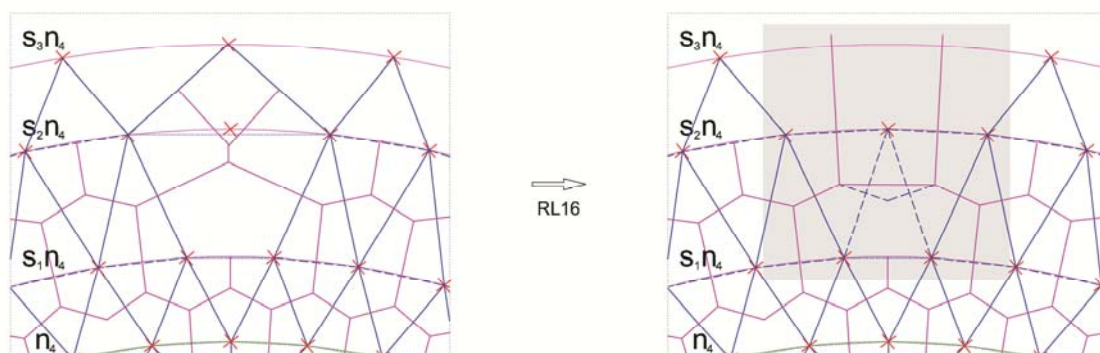


Fig. 308 – Exemplo de aplicação da regra RL16.

3.4 Retirar os elementos geométricos auxiliares à definição das formas estruturais

Findo a geração dos elementos estruturais, pode-se proceder à simplificação da composição geométrica, retirando-se grande parte dos elementos geométricos que foram necessários à construção da malha auxiliar para definir os perímetros dos polígonos estruturais. Portanto, as próximas regras (RL17 a RL 21), serão somente destinadas à remoção desses elementos.

_ RL17 – Retirar linhas auxiliares de construção dos diagramas voronoi _ linhas azuis contínuas.

Remoção dos segmentos de reta de linha contínua azul que unem pontos **X** entre diferentes níveis e/ou subníveis de expansão ou que unem o ponto F aos pontos **X** situados no perímetro de n_1 (fig. 309 e 310).

RL17



Fig. 309 – Descrição geométrica e algébrica da regra RL17.

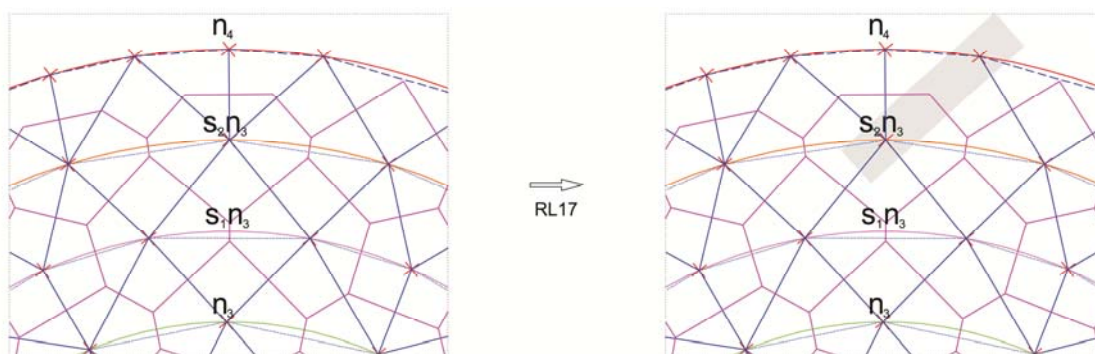


Fig. 310 – Exemplo de aplicação da regra RL17.

_ *RG18 – Retirar linhas auxiliares de construção dos diagramas de Voronoi _ linhas azuis tracejadas.*

Remoção dos segmentos de reta de linha tracejada azul (fig. 311 e 312). Estes podem surgir na composição em três situações distintas:

- na união de pontos **X** no mesmo nível ou subnível de expansão;
- na união de pontos **X** entre diferentes níveis e/ou subníveis de expansão, quando a composição estrutural reflete efeito de oscilação;
- como linhas auxiliares na definição do perímetro de polígonos a partir de três polígonos já existentes (ver regra 15).

RL18



Fig. 311 – Descrição geométrica e algébrica da regra RL18.

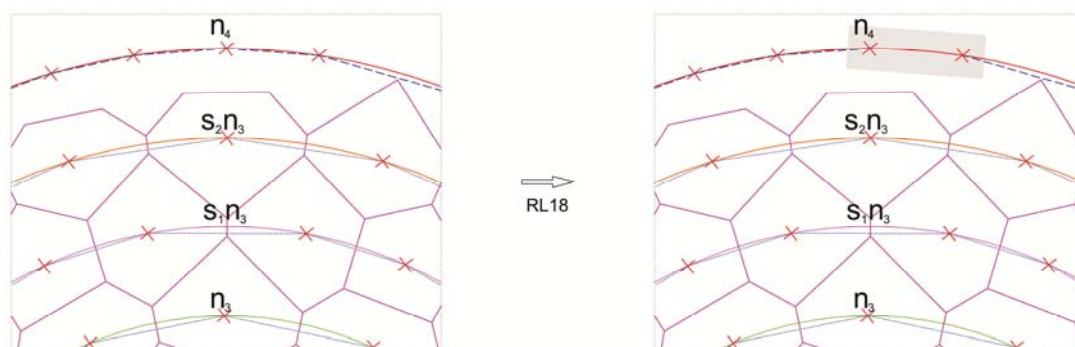


Fig. 312 – Exemplo de aplicação da regra RL18.

_ *RL19 – Retirar linhas auxiliares de construção dos diagramas voronoi _ linhas azuis ponteadas.*

Remoção dos segmentos de reta de linha pontuada azul que unem pontos **X** localizados nos mesmos níveis ou subníveis de expansão (fig. 313 e 314).

RL19



Fig. 313 – Descrição geométrica e algébrica da regra RL19.

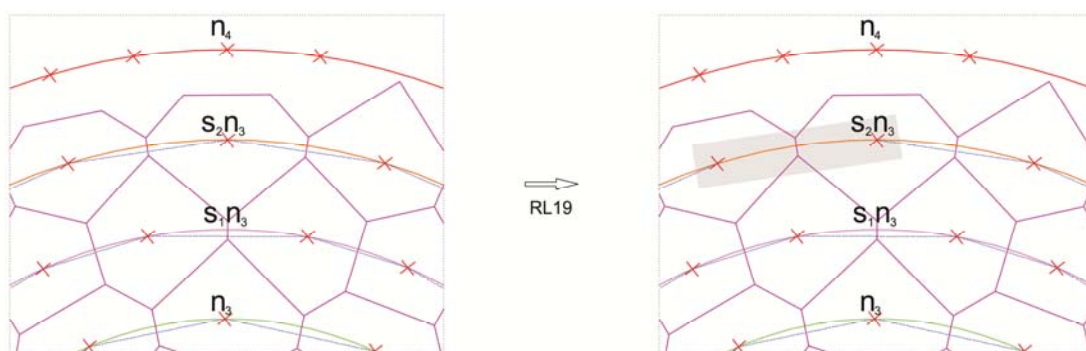


Fig. 314 – Exemplo de aplicação da regra RL19.

_ *RL20 – Retirar os pontos \times dos níveis e subníveis de expansão.*

Remoção de todos os pontos \times situados sobre os perímetros dos níveis e subníveis de expansão (fig. 315 e 316).

RL20



Fig. 315 – Descrição geométrica e algébrica da regra RL20.

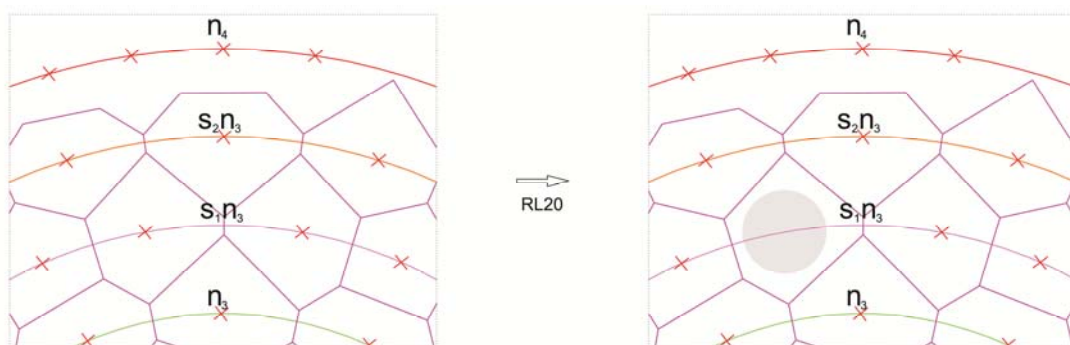


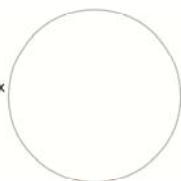
Fig. 316 – Exemplo de aplicação da regra RL20.
Remoção de um ponto \times sobre o subnível de expansão s_1n_2 .

_ *RL21 – Retirar os níveis e os subníveis de expansão.*

Remoção de todos os perímetros de circunferência dos níveis e subníveis de expansão, com exceção do referente ao último nível de expansão (fig. 317 e 318).

RL21

$$n_{t_{\text{máx}} - x}$$

$$s_j n_i$$


$$i, j, t \wedge x \in \mathbb{N}$$

$$i \geq 1; j \geq 1; t \geq 2$$

$$1 \leq x \leq t_{\text{máx}} - 1$$

Fig. 317 – Descrição geométrica e algébrica da regra RL21.

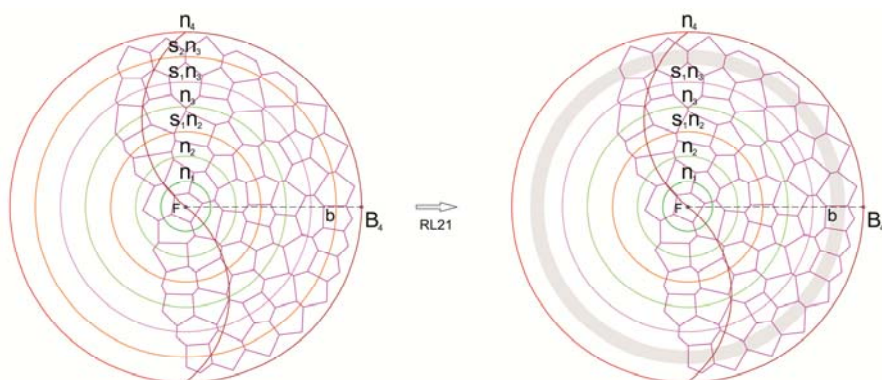


Fig. 318 – Exemplo de aplicação da regra RL21.
Remoção do subnível de expansão S_2N_3 .

3.5 Seleção dos elementos estruturais a incluir na composição geométrica

Realizada a remoção de todos os elementos geométricos associados à malha triangular auxiliar, as composições geométricas ficam como uma aparência muito semelhante às da figura 319. Atingida esta fase, é necessário selecionar dos elementos estruturais gerados, os que farão parte da forma idealizada pelas guias de controlo formal e os que serão retirados. Esta seleção terá que obedecer a alguns requisitos geométricos que foram introduzidos nas regras seguintes.

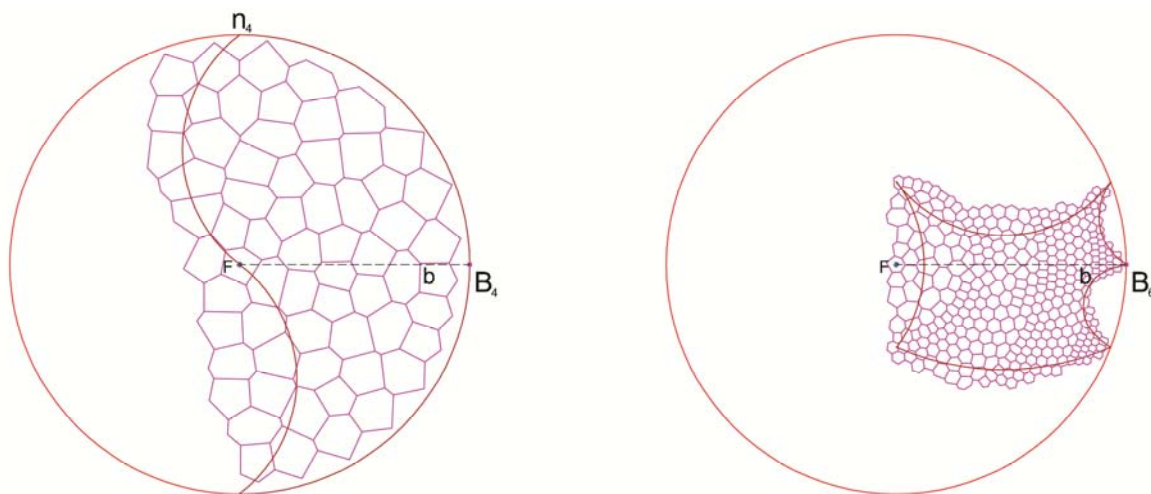


Fig. 319 – Estado das composições geométricas nesta fase do processo de geração.

RL22 – Identificação dos elementos estruturais intersetados por uma guia de controlo formal.

Sempre que um polígono fechado é atravessado pela guia de controlo formal, o espaço contido pelo perímetro do polígono é preenchido por uma mancha de cor rosa. Para evitar uma contínua repetição da regra na mesma descrição geométrica do lado A da regra, o troço do segmento de reta da guia circunscrita pelo perímetro do polígono, muda as suas propriedades geométricas, passando de uma linha contínua para uma linha tracejada (fig. 320 e 321).

RL22

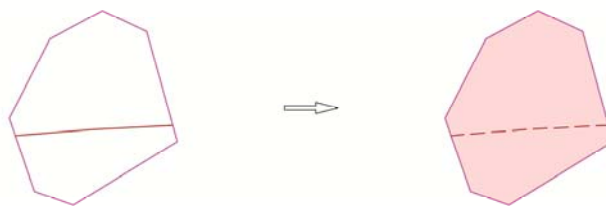


Fig. 320 - Descrição geométrica da regra RL22.

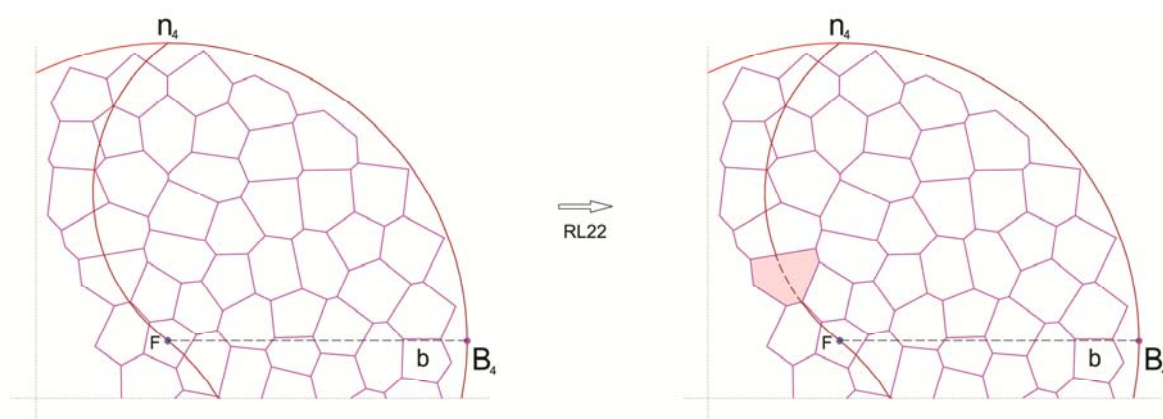


Fig. 321 – Exemplo de aplicação da regra RL22.

RL23 – Identificação dos elementos estruturais interseçados por duas guias de controlo formal.

Em situações em que um polígono fechado é atravessado na totalidade por duas guias de controlo formal, o espaço contido pelo perímetro do polígono é preenchido por uma mancha de cor rosa, tal como na regra RL22. Para evitar uma contínua repetição da regra na mesma descrição geométrica do lado A da regra, os troços do segmento de recta de cada guia de controlo formal circunscrita pelo perímetro do polígono, muda as suas propriedades geométricas, passando de uma linha contínua para uma linha tracejada (fig. 322 e 323).

RL23

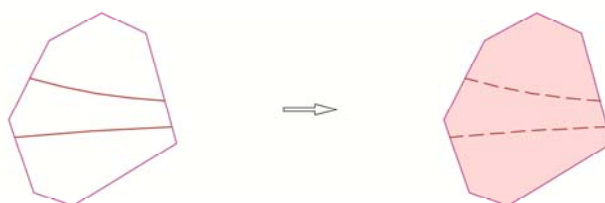


Fig. 322 - Descrição geométrica da regra RL23.

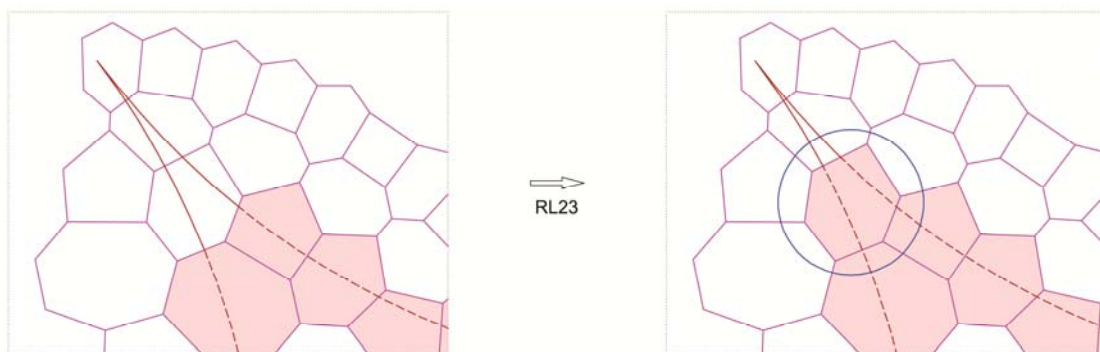


Fig. 323 – Exemplo de aplicação da regra RL23.

RL24 – Identificação dos elementos estruturais intersetados parcialmente por duas guias de controlo formal.

Em casos em que o polígono estrutural é intersetado parcialmente por duas guias de controlo formal, o espaço contido pelo perímetro é também preenchido por uma mancha rosa. Tal como sucede na regra RL22 e RL23, para evitar que a regra se repita continuamente, as parcelas das guias de controlo formal que ficam dentro do polígono, mudam as suas propriedades geométricas, passando a ser representadas por uma linha tracejada em vez de uma linha contínua (fig. 324 e 325).

RL24

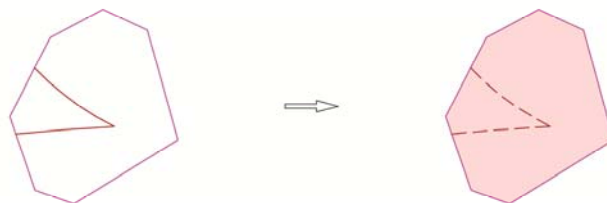


Fig. 324 - Descrição geométrica da regra RL24.

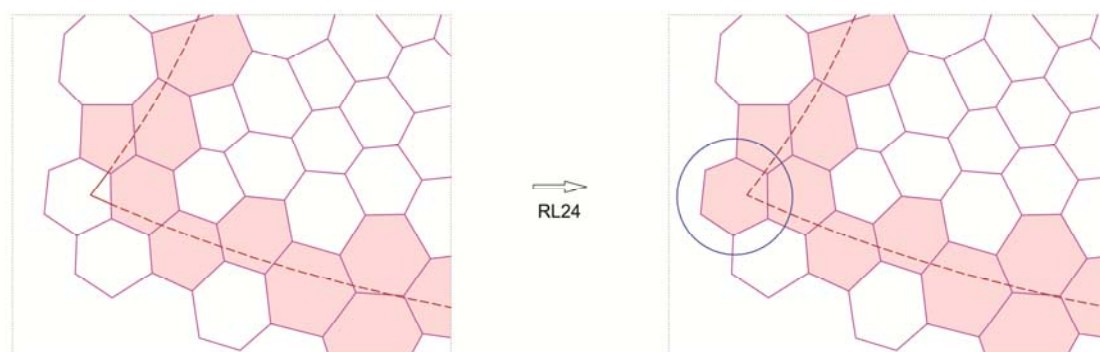


Fig.325 – Exemplo de aplicação da regra RL24.

RL25 – Distinção por mudança de cor dos segmentos de reta do perímetro dos polígonos estruturais cujo interior é preenchido por uma mancha de cor (rosa).

Os segmentos de reta dos perímetros dos polígonos preenchidos por uma mancha rosa, devem mudar de cor, passando de rosa para preto. Esta mudança é importante para fazer a seleção dos elementos estruturais que irão ser excluídos da composição geométrica, como será demonstrado nas regras que se seguem (fig. 326 e 327).

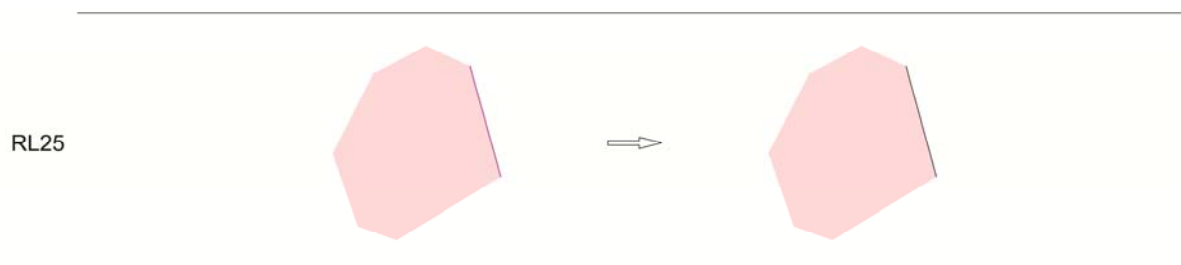


Fig. 326 - Descrição geométrica da regra RL25.

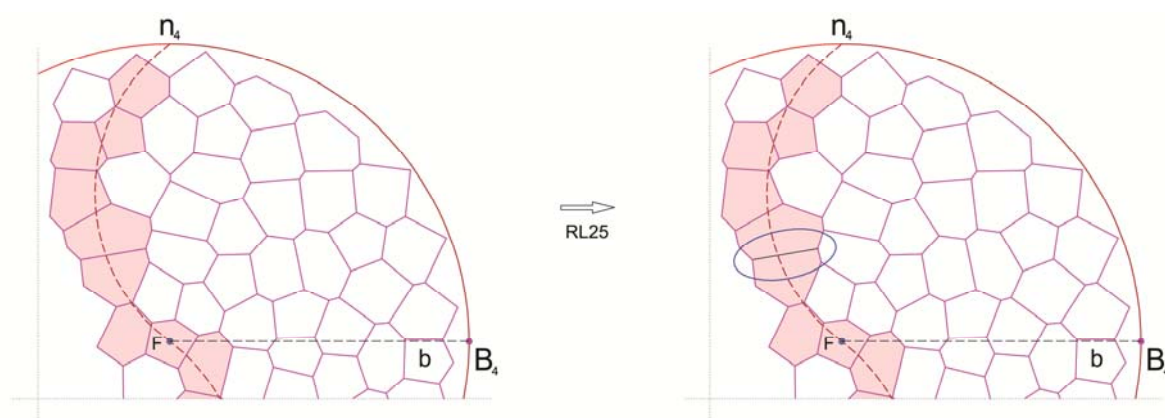


Fig. 327 – Exemplo de aplicação da regra RL25.

RL26 – Mudança de propriedade da guia de controlo formal n_i máx.

Existem casos em que as guias de controlo formal são partes do perímetro de último nível de expansão da composição. Nestas situações, as guias de controlo formal nunca interseam elementos estruturais, mantendo-se assim, sempre representadas mediante uma linha contínua. Para uniformizar todo o contorno que delimita a forma gerada, estes arcos devem mudar as suas propriedades geométricas de linha contínua para linha a tracejado (fig. 328 e 329).

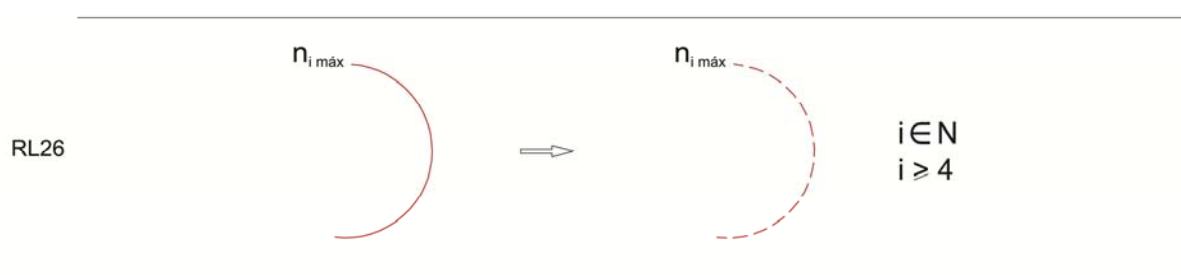


Fig. 328 - Descrição geométrica e algébrica da regra RL26.

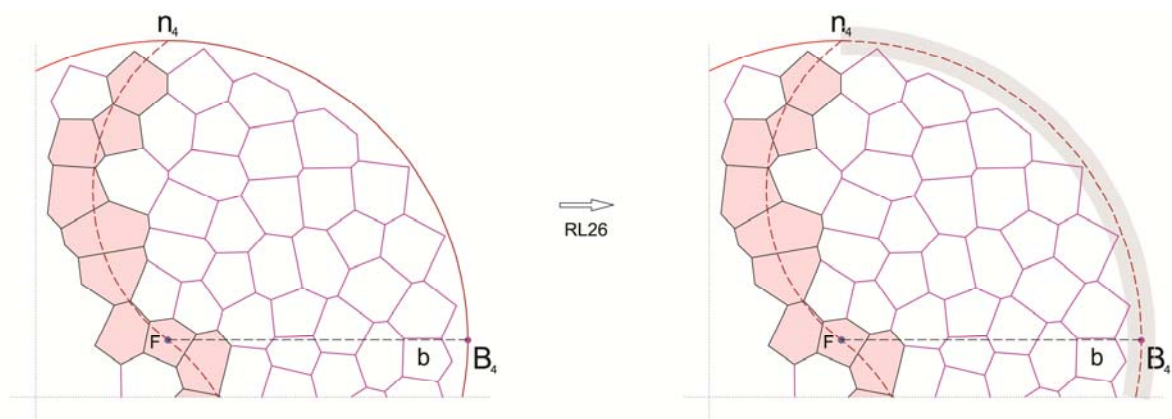


Fig. 329 – Exemplo de aplicação da regra RL26.

_ RL27 – Exclusão dos segmentos de reta externos ao perímetro das linhas guia.

As guias de controlo formal têm sempre a particularidade de em conjunto definirem sempre uma forma fechada. Portanto, isto implica, que irão existir elementos estruturais dentro e fora do perímetro que delimitam. Como os polígonos externos a esse perímetro nunca irão fazer parte da composição geométrica, estes podem ser retirados da composição. Assim sendo, estes elementos vão ser retiradas através da exclusão dos segmentos de reta rosa que constituem os seus perímetros (fig. 330 e 331).

RL27

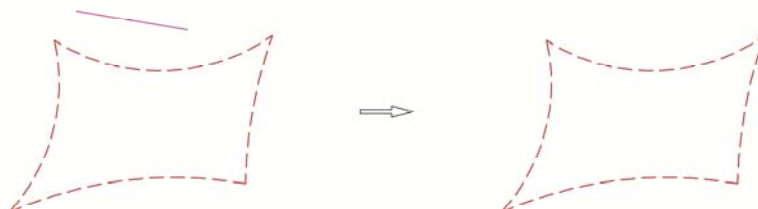


Fig. 330 - Descrição geométrica da regra RL27.

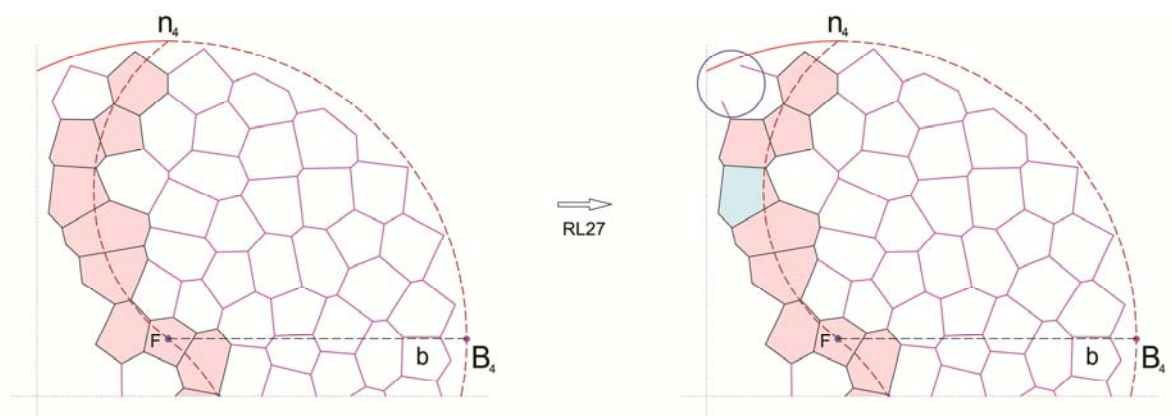


Fig. 331 – Exemplo de aplicação da regra RL27.

_ RL28 – Identificação dos elementos geométricos com mais de metade da área externa aos limites do perímetro das guias de controlo formal _ casos por intersecção de uma guia.

Os polígonos estruturais só irão fazer parte da composição geométrica se mais de metade da sua área estiver dentro da área delimitada pelas guias de controlo formal. Se tal não acontecer, devem ser assinaladas do seguinte modo. A área do polígono fora da área delimitada pelas guias, deve ser assinalada com uma mancha de cor azul e os segmentos de reta em contacto com essa mancha que não estiverem em contacto com a guia, são retirados do perímetro do polígono (fig. 332 e 333).

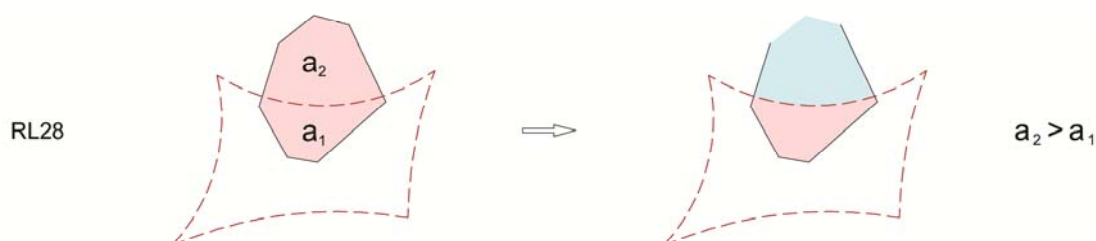


Fig. 332 - Descrição geométrica e algébrica da regra RL28.

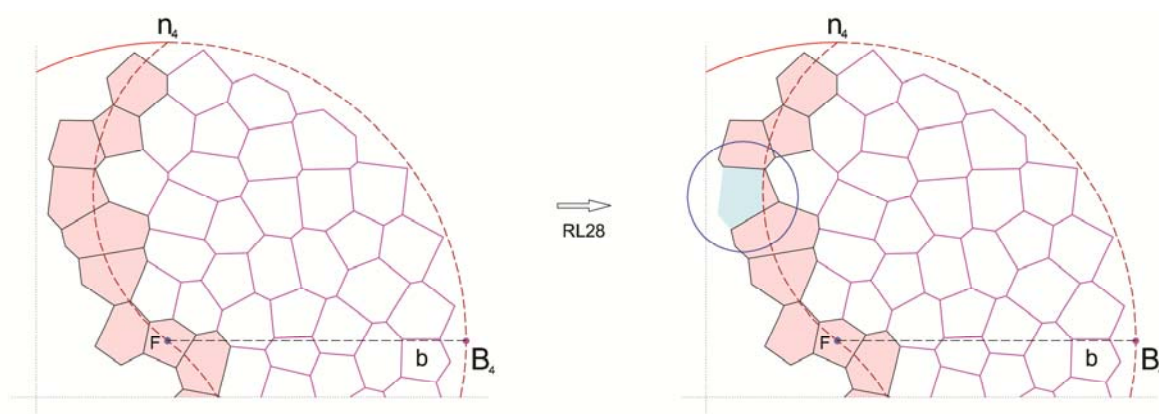


Fig. 333 – Exemplo de aplicação da regra RL28.

_ RL29 – Identificação dos elementos geométricos com mais de metade da área externa aos limites do perímetro das guias de controlo formal _ casos por intersecção parcial de duas guias.

Existem casos, em que as formas estruturais em vez de serem intersecadas na sua totalidade por uma guia de controlo formal, podem ser intersecadas parcialmente por duas dessas guias. Neste caso, aplicam-se os mesmos procedimentos adotados para a regra RL28, se mais de metade da área do polígono estrutural estiver fora da área delimitada pelas guias de controlo formal (fig. 334 e 335).

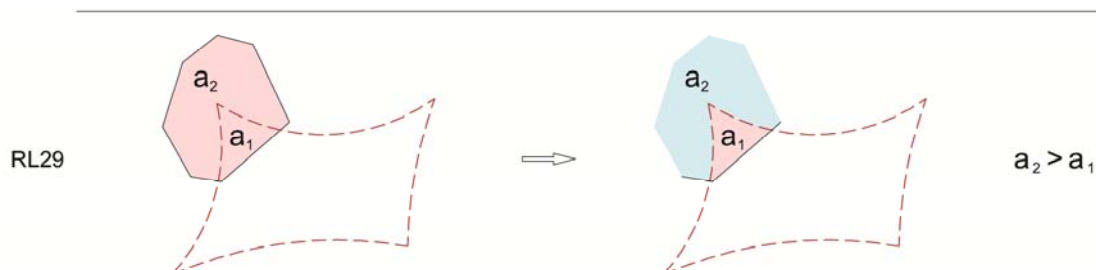


Fig. 334 - Descrição geométrica e algébrica da regra RL29.

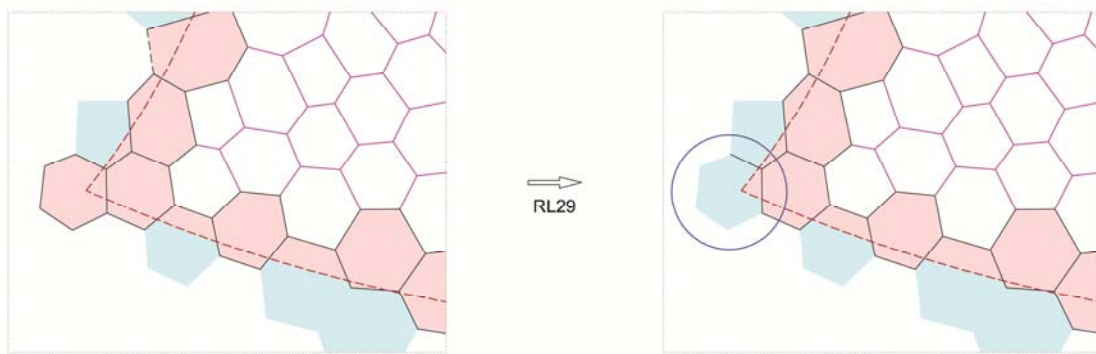


Fig. 335 – Exemplo de aplicação da regra RL29.

_ RL30 – Identificação dos elementos geométricos com mais de metade da área externa aos limites do perímetro das guias de controlo formal _ casos por intersecção de duas guias.

Outros casos existem ainda, em que os polígonos estruturais podem ser intersecados na sua totalidade por duas guias de controlo formal. Portanto, se uma vez mais se verificar que a percentagem da área do polígono fora da área delimitada pelas guias é maior, seguem-se os mesmos procedimentos delineados nas regras RL28 e RL29 (fig. 336 e 337).

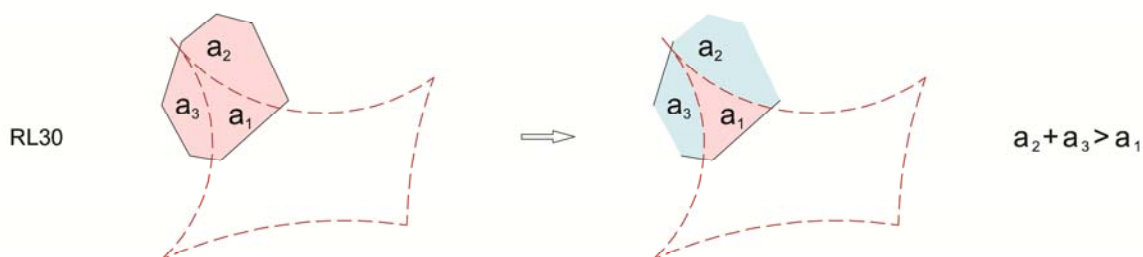


Fig. 336 - Descrição geométrica e algébrica da regra RL30.

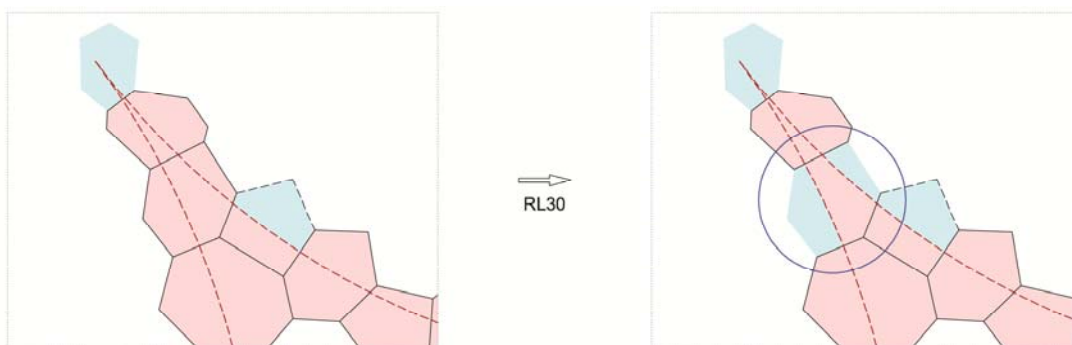


Fig. 337 – Exemplo de aplicação da regra RL30.

_ RL31 – Exclusão dos segmentos de reta intersetados pelas guias de controlo formal, que não são comuns aos polígonos de mancha rosa.

Sempre que um segmento de reta do perímetro de um polígono intersetado por uma guia de controlo formal seja delimitado de ambos os lados por uma mancha azul, significa que este segmento não é partilhado com nenhum dos perímetros dos polígonos que se irão manter na composição geométrica. Assim sendo, pode ser retirado da composição (fig. 338 e 339).

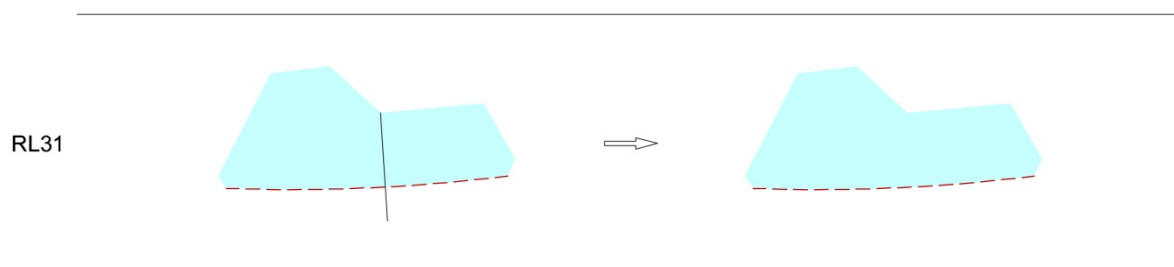


Fig. 338 - Descrição geométrica da regra RL31.

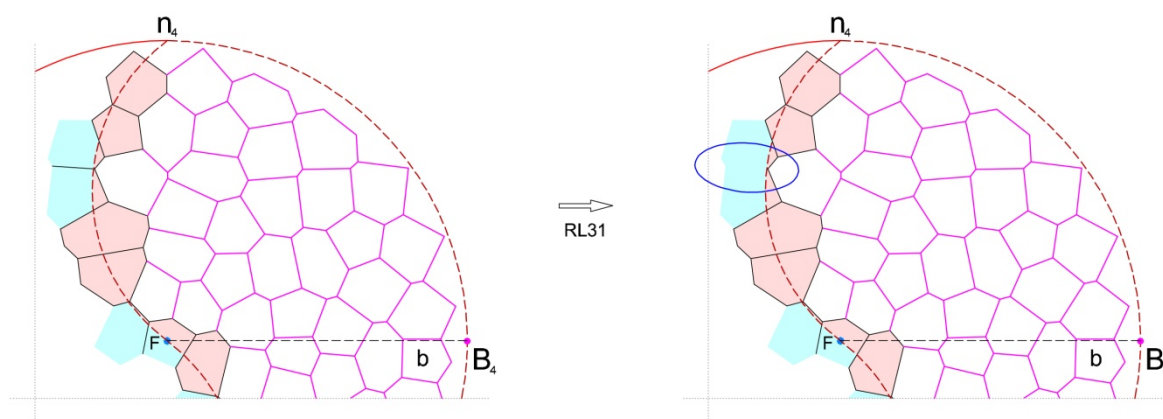


Fig. 339 – Exemplo de aplicação da regra RL31.

3.6 Simplificação da composição geométrica

Definidos os elementos estruturais que vão fazer parte da composição geométrica, podem ser retirados os elementos geométricos que auxiliaram a seleção e a exclusão dos elementos estruturais, mais precisamente, as guias de controlo formal e as manchas de cor associados aos elementos estruturais do limite da composição.

_ RL32 – Exclusão da guia de controlo formal.

Os contornos que delimitam as formas que se pretendem gerar, são constituídos por várias guias de controlo formal. Após a seleção das formas estruturais que vão fazer parte da composição geométrica, a presença das guias já não tem qualquer tipo de contributo, podendo então, ser retiradas (fig. 340 e 341).

RL32



Fig. 340 - Descrição geométrica da regra RL32.

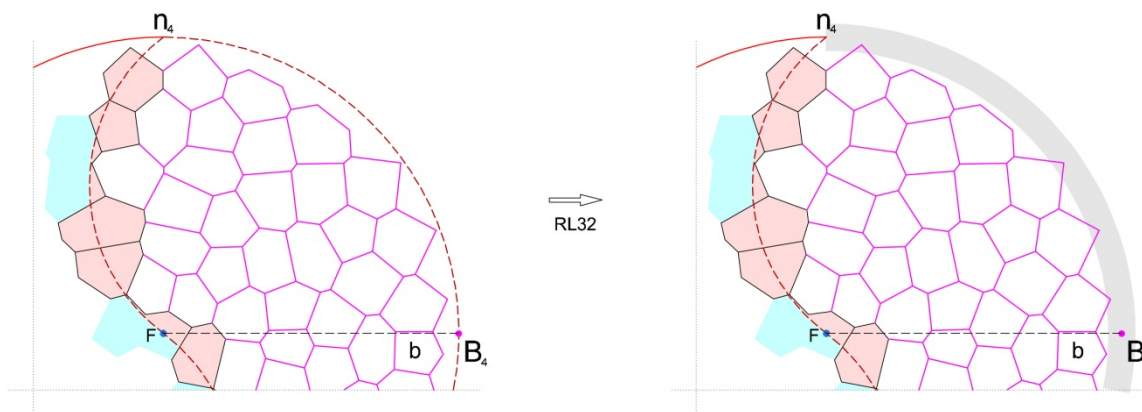


Fig. 341 – Exemplo de aplicação da regra RL32.

Exclusão de um troço do perímetro de n_4 que correspondia a uma guia de controlo formal.

_ RL33 – Exclusão de manchas de cor.

O processo de seleção dos elementos estruturais introduziu manchas de cor em todos os elementos estruturais que foram interseccionados pelas guias de controlo formal. Feita a seleção, já não há a necessidade da sua permanência na composição. Como se pretende a exclusão de todas as manchas de cor, não há a necessidade de ordenar a sua exclusão por cores. Portanto, a ordem pode ser simplificada apenas por uma regra. Assim sendo, de modo a representar a totalidade das cores presentes nas manchas dos polígonos, a descrição geométrica do lado A da regra é feita com uma mancha de cor cinza (fig. 342 e 343).

RL33



Fig. 342 - Descrição geométrica da regra RL33.

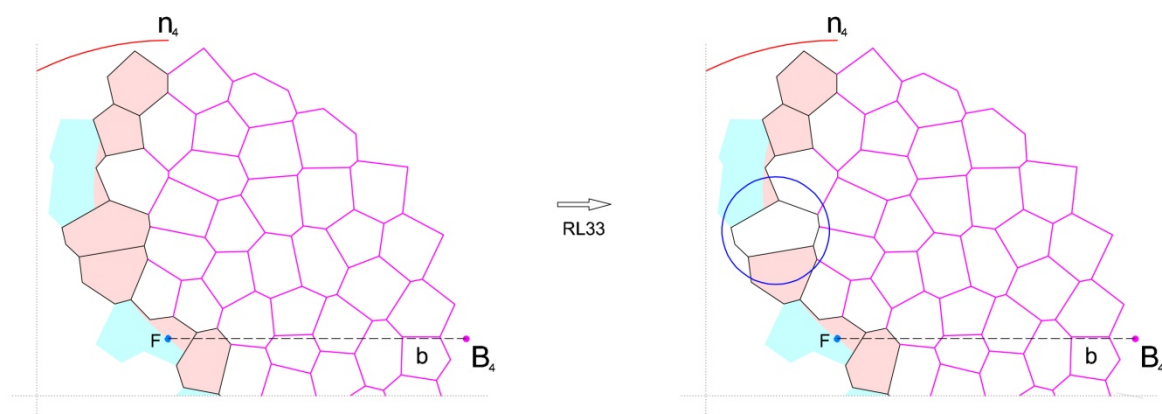


Fig. 343 – Exemplo de aplicação da regra RL33.
Exclusão da mancha rosa do interior de um dos polígonos estruturais.

– *RG 34 – Mudança de propriedades geométricas dos segmentos de reta que compõem os polígonos estruturais.*

Durante o processo de seleção dos elementos estruturais, os segmentos de reta que definem os perímetros dos polígonos que foram interseccionados pelas guias de controlo formal, mudaram a sua cor de rosa para preto. Após a seleção, alguns dos elementos selecionados, detêm perímetro de cor preta. Portanto, para manter a uniformidade de todos os elementos estruturais da composição, a regra RL34, irá reverter a cor dos segmentos de reta do perímetro dos polígonos, de preto para rosa (fig. 344 e 345).

RL34



Fig. 344 - Descrição geométrica da regra RL34.

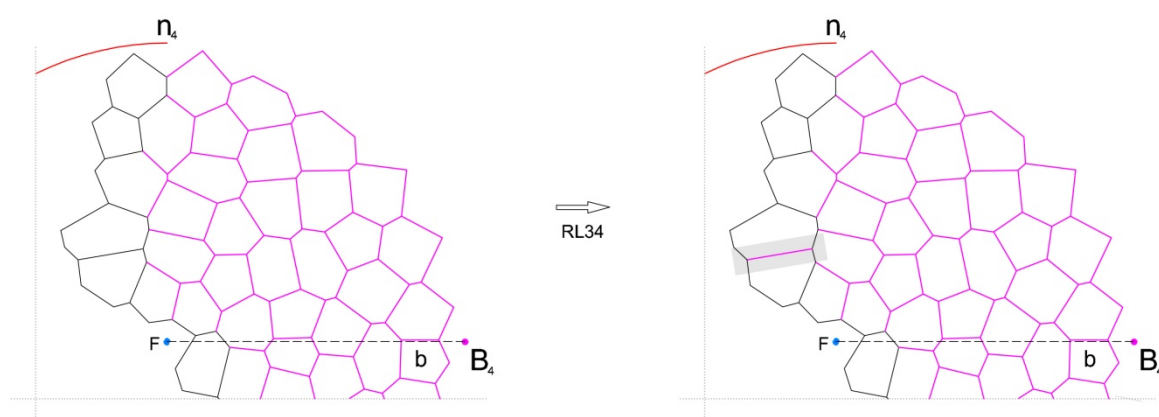


Fig. 345 – Exemplo de aplicação da regra RL34.
Mudança de cor de um segmento de reta de um polígono estrutural.

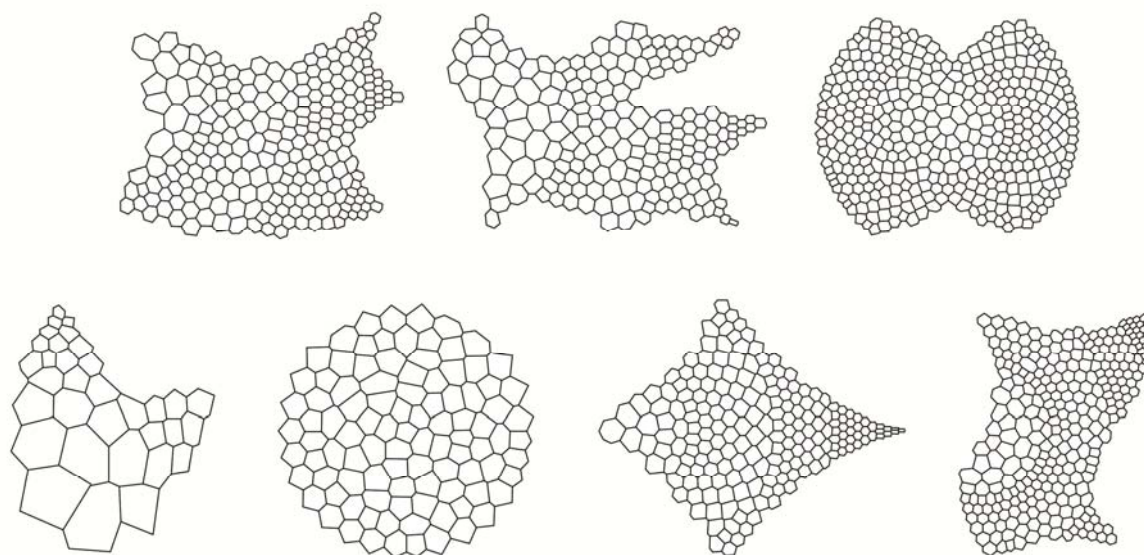


Fig. 346 - Alguns exemplos de outras composições geométricas geradas pelo processo de desenho.

REGRAS ESPACIAIS

4.1 Localização dos pontos

Para que a composição geométrica consiga revelar efeito de rugosidade (ver ponto 3.2.2.2.4) no espaço tridimensional, os perímetros dos polígonos estruturais não devem estar mapeados na superfície. A rugosidade depende muito da irregularidade direcional dos elementos estruturais, portanto, se toda a composição fica mapeada no plano da superfície tridimensional, os perímetros dos elementos estruturais não terão qualquer tipo de liberdade posicional fora da superfície. Por esta razão, a composição geométrica irá ser transportada para a superfície, apenas através dos pontos correspondentes aos vértices do perímetro dos polígonos estruturais.

– *RE1 – Definição dos pontos a transferir para a superfície tridimensional. Hipótese 1 – Segmentos de reta sem pontos.*

Sempre que se identifique um segmento de reta rosa, serão posicionados nas suas extremidades pontos. Para evitar uma contínua repetição da regra na mesma descrição geométrica descrita no lado A da regra, o segmento de reta definido pelos dois pontos muda as suas propriedades geométricas, passando de uma linha contínua rosa para uma preta (fig. 347 e 348).

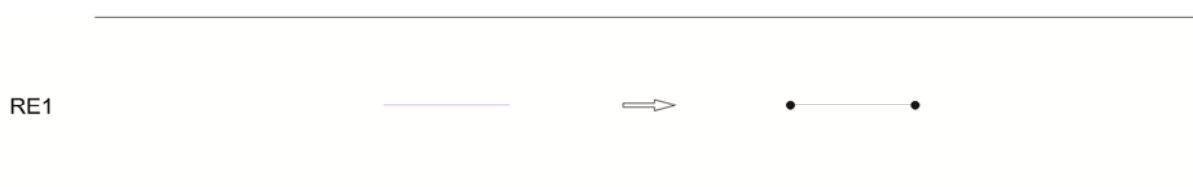


Fig. 347 – Descrição geométrica da regra RE1.

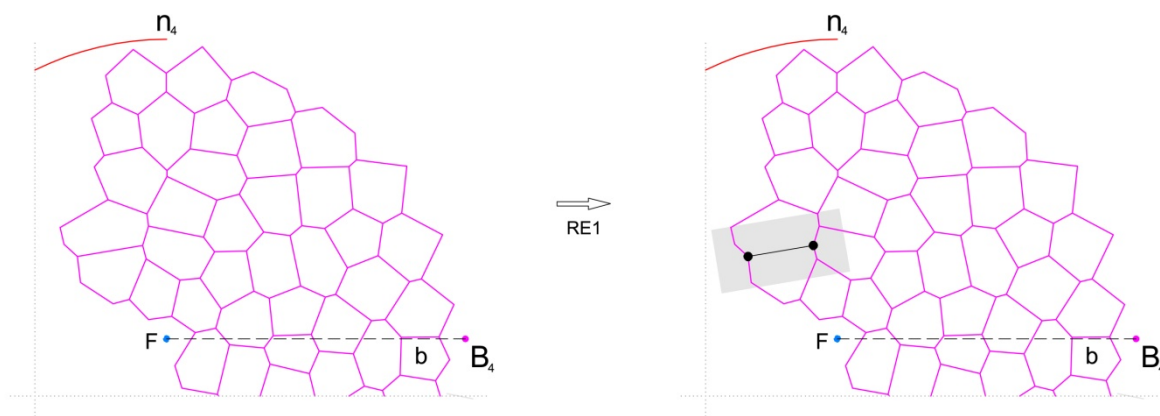


Fig. 348 – Exemplo de aplicação da regra RE1.

– *RE2 – Definição dos pontos a transferir para a superfície tridimensional. Hipótese 2 – Segmentos de reta contendo um ponto.*

Aplicada a regra RE1, situações podem surgir em que o segmento de reta rosa, já inclui um ponto definido numa das suas extremidades. Nestas situações, é colocado um ponto na extremidade em falta. Tal como sucede na regra RE1, para evitar uma constante repetição da regra sobre a mesma descrição geométrica, o segmento de reta passa de rosa para preto (fig. 349 e 350).

RE2



Fig. 349 – Descrição geométrica da regra RE2.

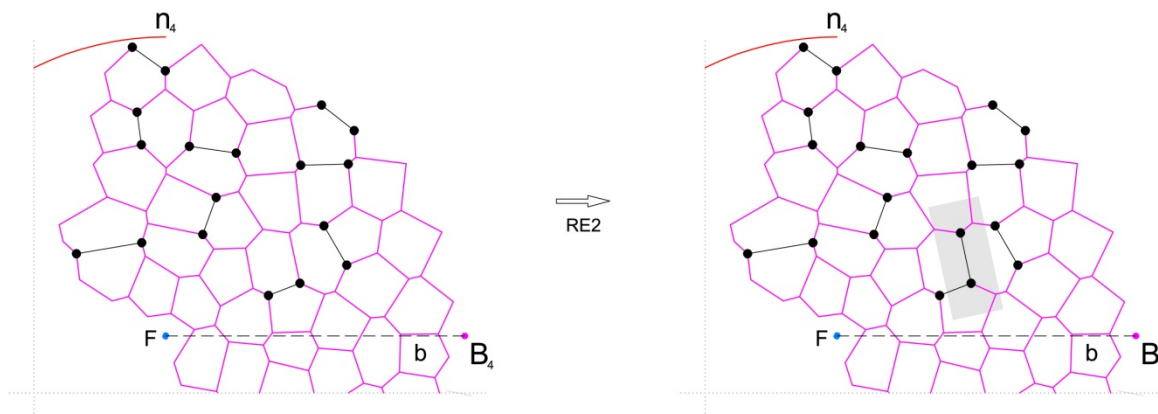


Fig. 350 – Exemplo de aplicação da regra RE2.

_ RE3 – Definição dos pontos a transferir para a superfície tridimensional. Hipótese 3 – Segmentos de reta contendo dois pontos.

À medida que se aplicam as regras RE1 e RE2 para definir os pontos, podem surgir situações em que o segmento de reta rosa já contém pontos em ambas as extremidades. Nestes casos, apenas se procede à mudança de cor do segmento de reta de rosa para preto (fig. 351 e 352).

RE3



Fig. 351 – Descrição geométrica da regra RE3.

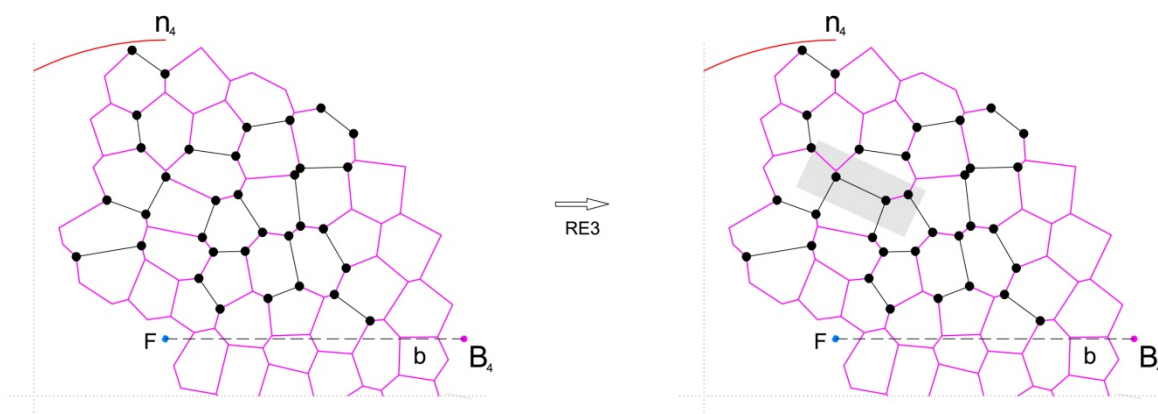


Fig. 352 – Exemplo de aplicação da regra RE3.

4.2 Remarcação do nível de expansão máximo da composição geométrica.

A clara demarcação do nível de expansão máximo da composição geométrica é de extrema importância. É sobre as suas propriedades geométricas, que vão incidir todos os passos referentes à transposição da forma bidimensional para o espaço. Durante a geração da forma nas regras locais, o perímetro do último nível de expansão sofre em muitos casos cortes, fazendo-se representar por um arco ou um conjunto de arcos. Portanto, face à sua importância nesta fase, será relevante proceder à reposição total do seu perímetro (fig. 353 e 354).

_ *RE4 – Reposição total do perímetro de circunferência de n_i .*

Sempre que o perímetro de n_i for composto apenas por parte de um arco de circunferência, este deve ser reposto na sua totalidade.

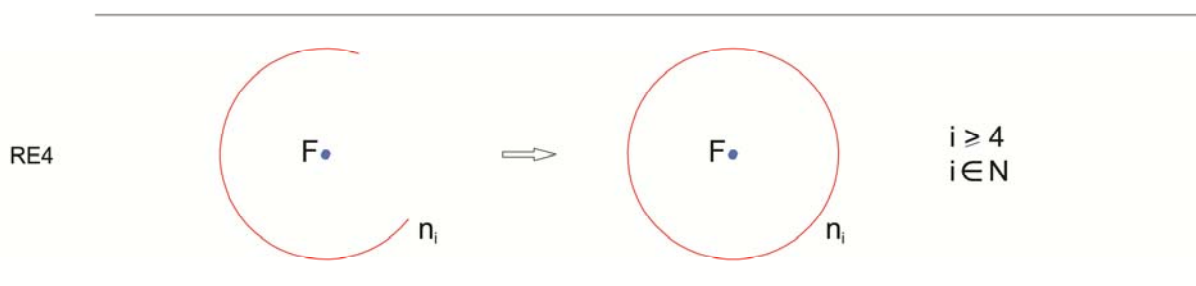


Fig. 353 – Descrição geométrica e algébrica da regra RE4.

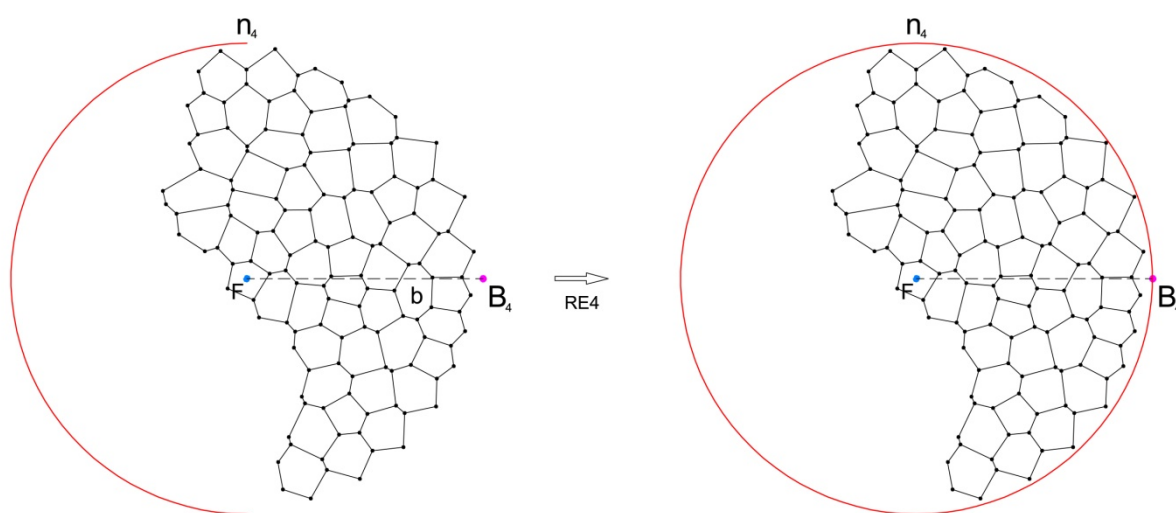


Fig. 354 – Exemplo de aplicação da regra RE4.
Reposição do perímetro de circunferência do último nível de expansão n_1 (n_4).

_ *RE5 – Reposição total do perímetro de circunferência de n_i quando fragmentado em duas ou mais partes.*

Sempre que o perímetro de n_i se encontrar fracionado em dois ou mais arcos, este deve ser reposto na sua totalidade (fig. 355 e 356).

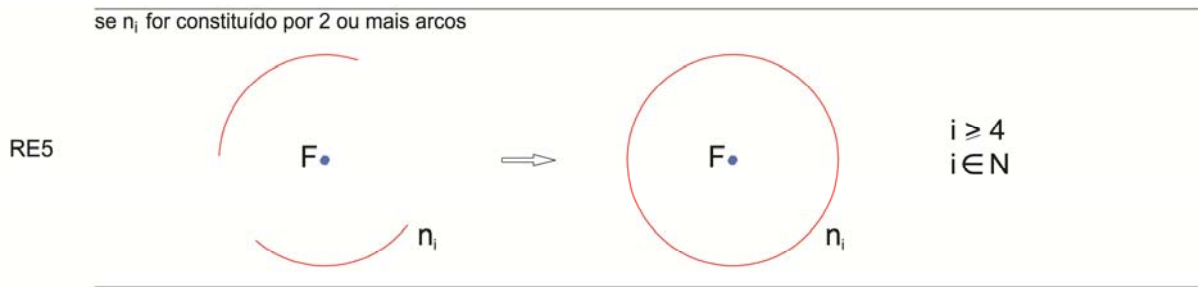
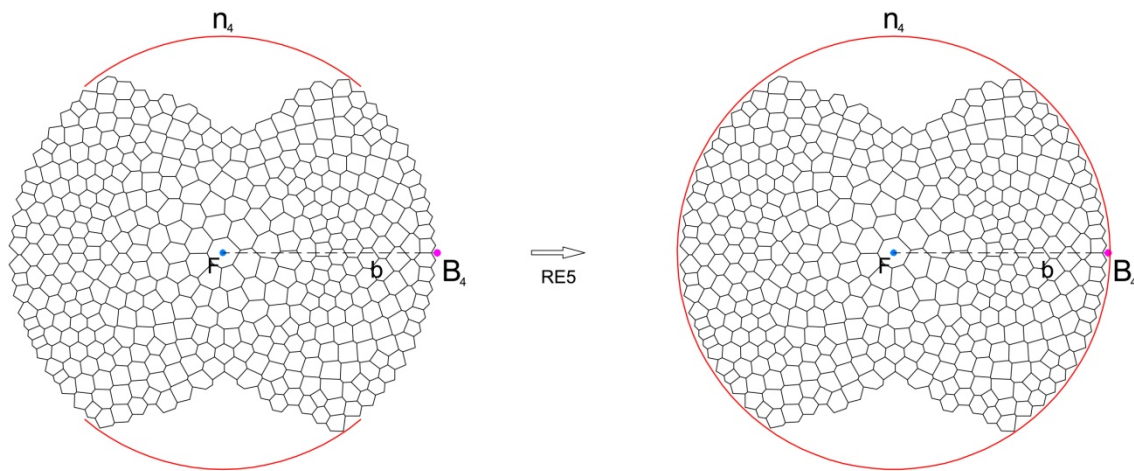


Fig. 355 – Descrição geométrica e algébrica da regra RE5.

Fig. 356 – Exemplo de aplicação da regra RE5.
Reposição do nível de expansão n_4 RE6 – Mudança de cor do perímetro de n_i .

Quando o perímetro de n_i corresponde ao perímetro de uma circunferência completa, significa que a composição geométrica gerada pelas regras locais teve como guia de controlo formal uma circunferência. Por esta razão, n_i surge representada nas regras espaciais com a cor das linhas guia de controlo formal. Nestes casos, a cor do perímetro de n_i deve mudar para a sua cor original (ver regras globais _RG4), o vermelho (fig. 357 e 358).

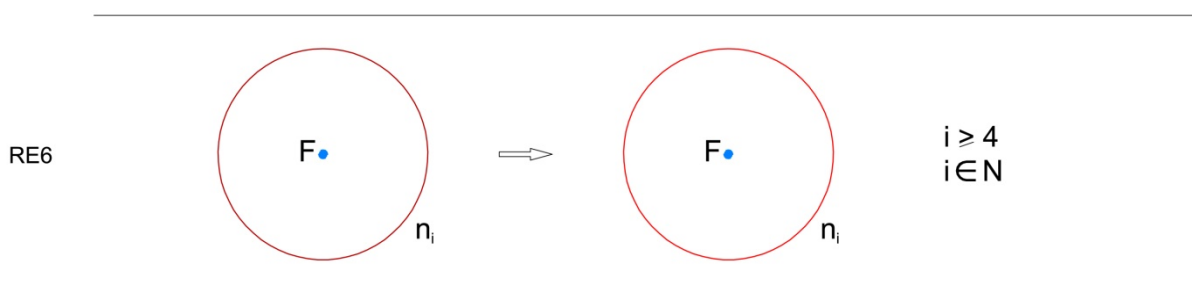


Fig. 357 – Descrição geométrica e algébrica da regra RE6.

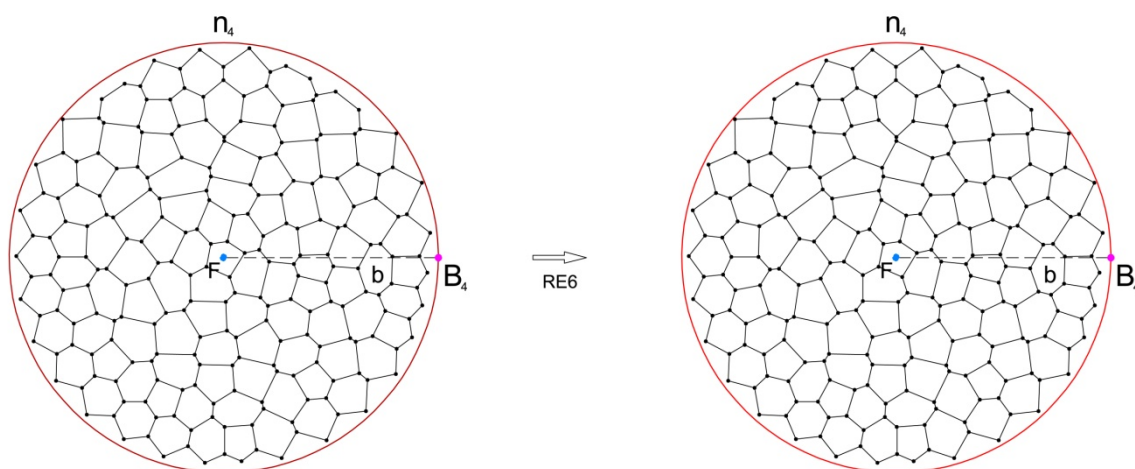


Fig. 358 – Exemplo de aplicação da regra RE6.

4.3 Referenciação dos pontos a linhas de raio do último nível de expansão

Redefinido o perímetro do último nível de expansão, os pontos definidos pelas regras RE1, RE2 e RE3, devem ser associados a uma das suas propriedades geométricas, o raio. Portanto, a cada ponto será atribuído um respetivo raio de circunferência de n_i .

_RE7 – Associar pontos a raios de n_i .

Sendo o ponto F, o centro de n_i , será a partir deste que é lançado um raio de n_i que inclua o ponto. Este ponto será denominado de P_x e o raio por $rn_{i,x}$. “i” refere-se ao número atribuído ao último nível de expansão e “x” ao número atribuído ao ponto.

Para evitar uma contínua repetição da regra na mesma descrição geométrica assinalada no lado A da regra, o ponto P_x muda as suas propriedades geométricas, alterando a cor de preto para vermelho (fig. 359 e 360).

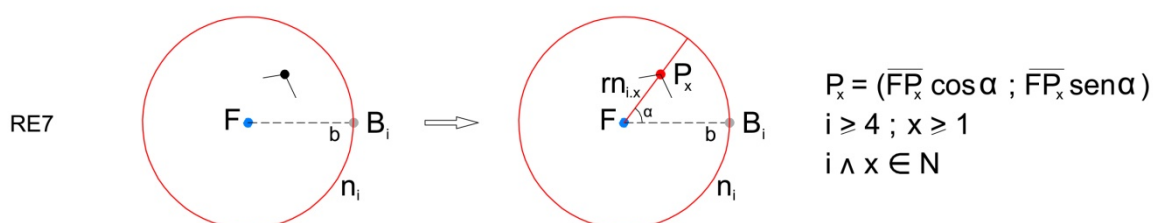


Fig. 359 – Descrição geométrica e algébrica da regra RE7.

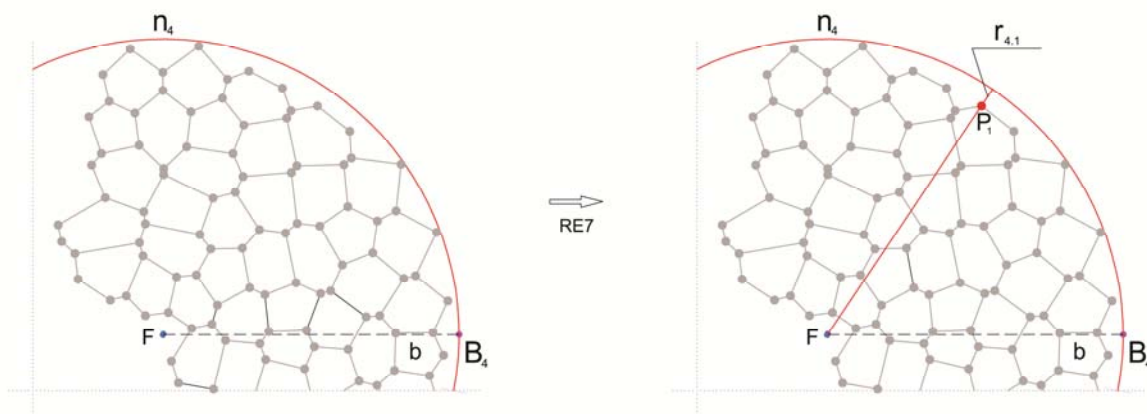


Fig. 360 – Exemplo de aplicação da regra RE7.
Definição de um ponto P_x (P_1) e de uma linha de raio $rn_{i,x}$ ($rn_{4,1}$)

RE8 – Associar pontos a raios de n_i . O segmento de reta definido pelos pontos é coincidente com a direção do raio de n_i .

A grande maioria dos segmentos de reta que compõem o perímetro das formas estruturais estão direcionados para o centro da composição, ou seja, para o ponto F. Nestas situações, esses segmentos de reta ficarão sobrepostos aos raios de n_i , o que permite definir apenas numa linha de raio ($rn_{i,x,x+1}$), dois pontos (P_x e P_{x+1}).

Tal como na regra RE8, para evitar uma contínua repetição da regra na mesma descrição geométrica assinalada no lado A da regra, o ponto P_x e P_{x+1} mudam as suas propriedades geométricas, alterando a cor de preto para vermelho (fig. 361 e 362).

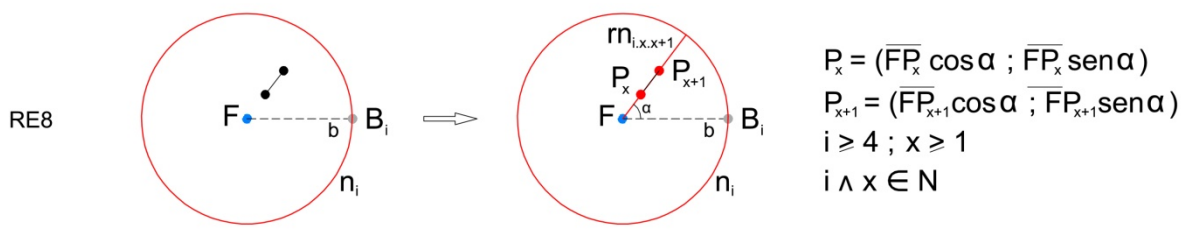


Fig. 361 – Descrição geométrica e algébrica da regra RE8.

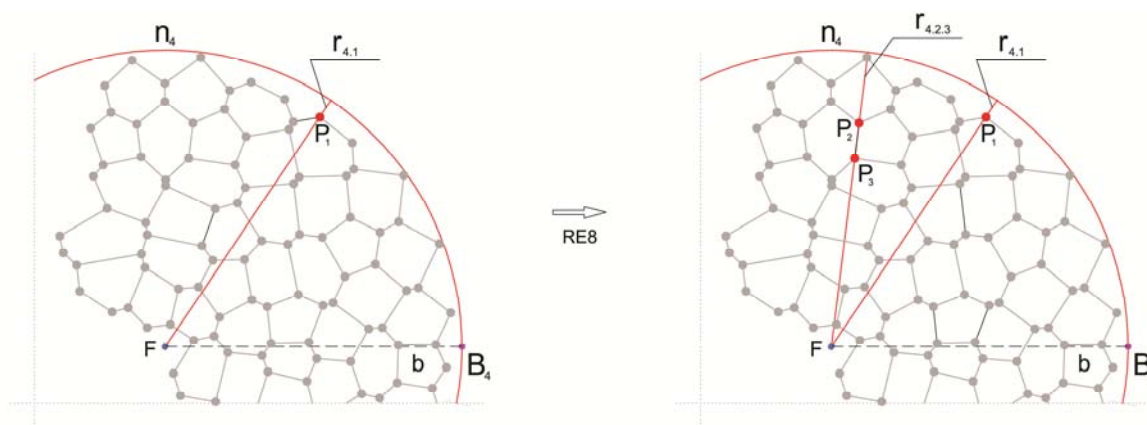


Fig. 362 – Exemplo de aplicação da regra RE8.
Definição de um ponto P_x (P_1) e P_{x+1} (P_2) e de uma linha de raio $rn_{i,x,x+1}$ ($rn_{4,2,3}$)

4.4 Definição da superfície espacial

Identificados os pontos, é necessário definir para qual das duas superfícies geométricas já preestabelecidas (toro e esfera) serão estes transportados para o espaço. A definição desses arcos não é aleatória. As suas dimensões e amplitudes são variações controladas dentro de uma escala de valores que estabelecem entre si relações de proporção. A regra RE9 e R10, irão exemplificar como se procede a geração do arco para a superfície do toro e da esfera, respetivamente.

_ RE9 – Definição do arco da superfície tendo como referência a superfície geométrica do Toro.

A definição da altura do arco tipo a aplicar, é feita com referência na dimensão do segmento de reta b. A dimensão deste segmento deve ser igual à dimensão do perímetro do arco. Quanto à sua localização, o arco deve fazer coincidir um dos seus extremos com o ponto F. O outro extremo terá um posicionamento variável no segmento de reta b, pelo facto de estar dependente da amplitude atribuída ao arco (fig. 363). Contudo, a sua localização no espaço requer outra particularidade. O arco deve estar contido no mesmo plano do segmento de reta b, mas este deve ser perpendicular ao plano da composição geométrica, que também contém o segmento de reta b. Portanto, considerando o plano da composição geométrica o plano (x,y), o arco deve ser localizado num plano perpendicular a este (x,z) que contenha o segmento de reta b.

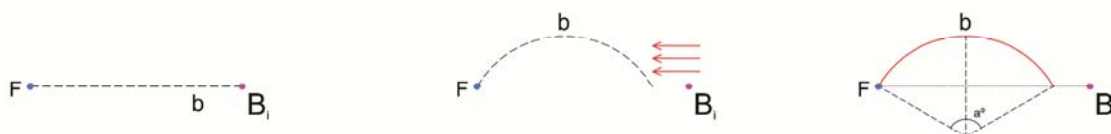


Fig. 363 – Exemplificação das características geométricas inerentes ao arco _ Toro.

Os valores a aplicar à amplitude do arco não são aleatórios. Estes estão relacionados com as ordens de grandeza estabelecidas no ponto 3.2.1.2 (Variações proporcionais - 1/1, 1/2, 1/3, 1/4, 2/5, 2/3 e 3/4). No caso do toro, a secção mediante uma linha de raio, reflete-se sobre a forma de uma circunferência. Se posicionado sobre a base estrutural com o seu centro coincidente com o ponto F, a secção mediante um raio no plano (x,y) e outro no plano (x,z), reflete-se sobre a forma de meia circunferência. Esta secção será estabelecida como a máxima amplitude do arco, ficando associada à relação proporcional 1/1. Assim sendo, para que este meio arco de circunferência reflita a dimensão do segmento de reta b, numa amplitude de 180°, o cálculo do raio de circunferência em que metade da dimensão do perímetro corresponda à dimensão do segmento de reta b, deve ser calculado da seguinte forma: sendo o perímetro (P) de uma circunferência igual a $2\pi r$, o raio da circunferência pode ser calculado dividindo o perímetro da circunferência por 2π . No entanto, como a dimensão do segmento de reta b, apenas corresponde a metade do perímetro, o raio deve ser calculado contemplando o dobro da dimensão de b como perímetro, isto é, dividir por 2π (fig. 364).

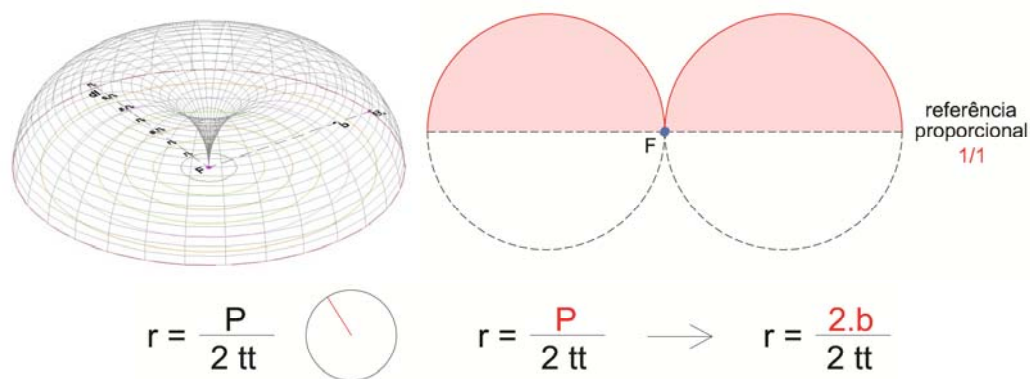


Fig. 364 – Exemplificação do cálculo do raio quando a dimensão do segmento de reta b equivale a metade do perímetro de circunferência _ Toro.

As restantes ordens de grandeza proporcional estabelecidas, também definirão a sua própria amplitude. O cálculo do raio das mesmas deverá ter como referência a relação proporcional 1/1 equivalente a 180° , o que faz com que o cálculo do raio para a relação proporcional de 1/2 seja equivalente a 90° . Isto significaria que a dimensão do segmento de reta b , teria que estar contido em apenas 1/4 do perímetro de circunferência. Portanto, o cálculo do raio teria que contemplar o quádruplo da dimensão do segmento de reta b , a dividir por $2tt$.

Este procedimento é exemplificado nas figuras seguintes (fig. 365 e 366), para todas as relações de grandeza proporcional, a considerar no cálculo da altura do arco.

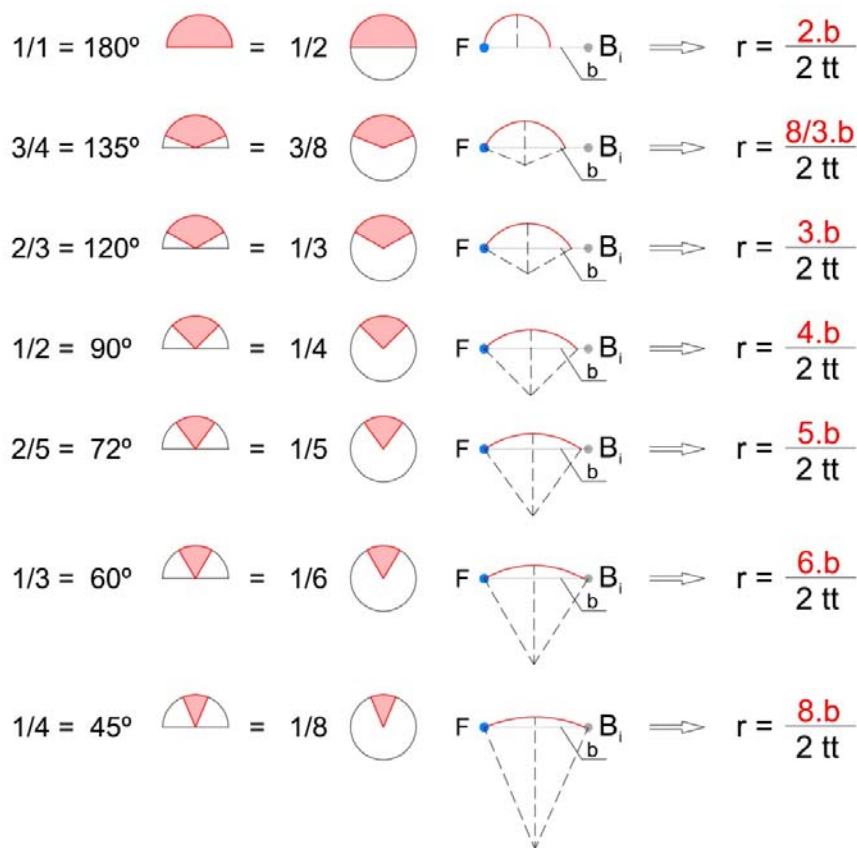


Fig. 365 – Exemplificação gráfica para cálculo do raio da superfície curva _ Toro.
Correspondência entre ordens de grandeza proporcional e ângulos.

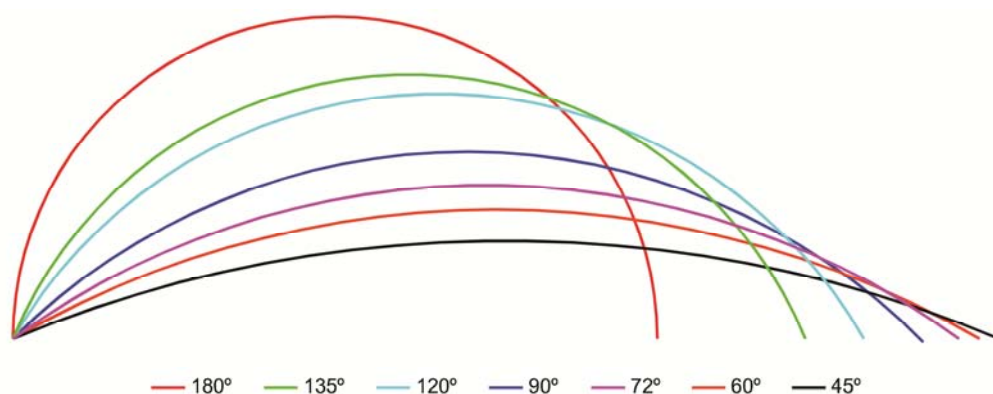


Fig. 366 – Comparação das diversas alturas do arco geradas pelas diferentes relações de grandeza proporcional _Toro.

Resumindo, o cálculo do raio do arco sobre o segmento de reta b pode ser calculado do seguinte modo: $r = (1/x.b) / 2t$, em que b corresponde à dimensão do segmento de reta b e x corresponde à quantidade de vezes que a dimensão do segmento de reta b se repete num perímetro de circunferência. Consoante o valor preestabelecido para x , maior ou menor será a amplitude do arco

Para evitar que o segmento de reta b continue a gerar arcos a partir do ponto F , de igual ou diferente amplitude, o segmento de reta b muda as propriedades geométricas da linha após a primeira aplicação da regra, passando de uma linha tracejada para uma linha contínua (fig. 367 e 368).

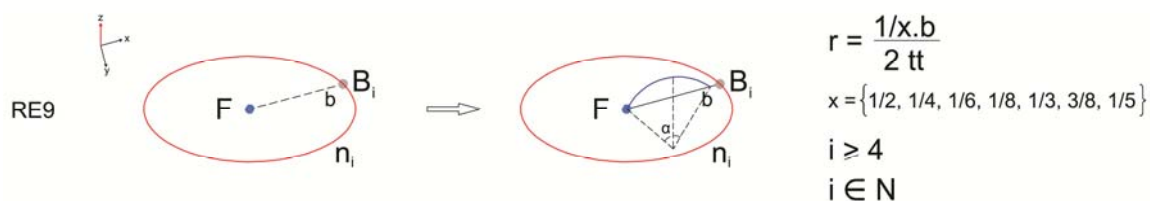


Fig. 367 – Descrição geométrica e algébrica da regra RE9.

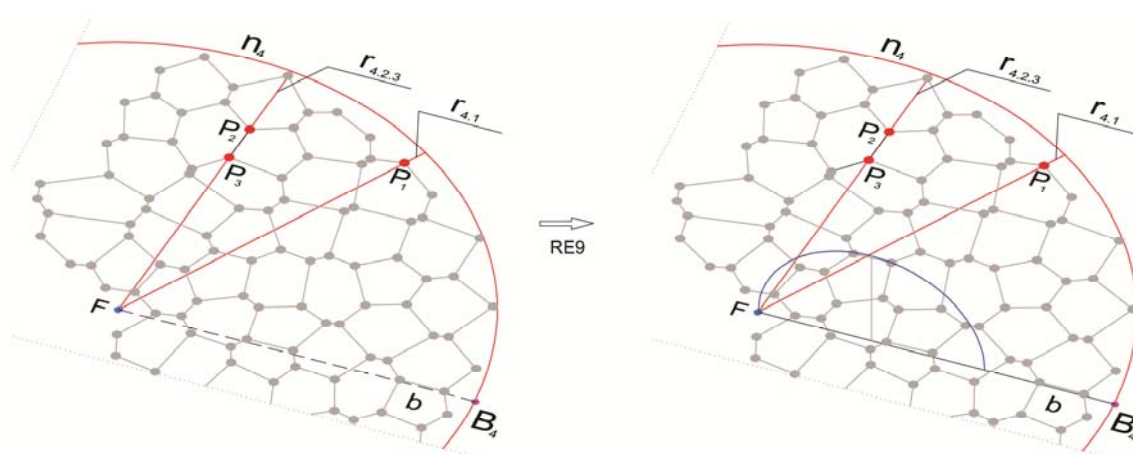


Fig. 368 – Exemplo de aplicação da regra RE9.
Definição de um arco com um ângulo de 180° ($x = 1/2$).

_ RE10 – Definição do arco da superfície tendo como referência a superfície geométrica da Esfera.

Tal como na regra RE9, a definição do arco tipo correspondente à superfície esférica, também é feita com referência na dimensão do segmento de reta b . A sua dimensão deve estar refletida na dimensão do perímetro do arco. Quanto à localização do arco, este também deverá ser referenciado no mesmo segmento de reta b , mas de um modo distinto ao descrito na regra anterior. Considerando que o segmento de reta b está situado num plano (x,y) , o arco deve ser inserido num plano perpendicular ao do segmento de reta b (x,z) , mas com a particularidade de o incluir nesse mesmo plano. Apenas uma das extremidades do arco estará sobre o segmento de reta b . O outro estará numa linha de eixo, situado no mesmo plano do arco e perpendicular ao plano (x,y) , com a particularidade de conter o ponto F . Ambos os extremos do arco têm um posicionamento variável, estando dependentes da amplitude atribuída ao arco (fig. 369).

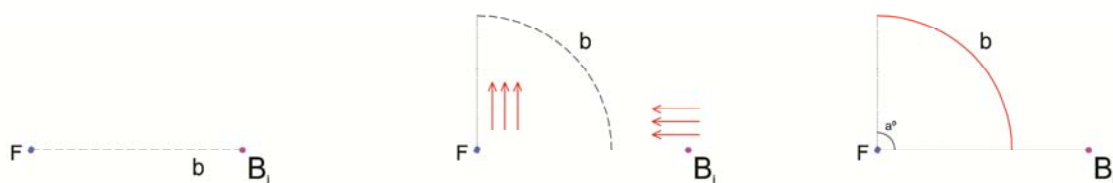


Fig. 369 – Exemplificação das características geométricas inerentes ao arco _ esfera.

Os valores a aplicar à amplitude do arco não são aleatórios. Estes estão relacionados com as ordens de grandeza estabelecidas no ponto 3.2.1.2 (Variações proporcionais - 1/1, 1/2, 1/3, 1/4, 2/5, 2/3 e 3/4). No caso da esfera, se posicionado sobre a base estrutural com o seu centro coincidente com o ponto F a secção mediante um raio no plano (x,y) e outro no plano (x,z) , reflete-se sobre a forma de 1/4 circunferência. Esta secção será estabelecida como a máxima amplitude do arco, ficando associada à relação proporcional 1/1. Assim sendo, para que este quarto de arco de circunferência reflita a dimensão do segmento de reta b , numa amplitude de 90°, o cálculo do raio de circunferência em que 1/4 da dimensão do perímetro corresponda à dimensão do segmento de reta b , deve ser calculado da seguinte forma: sendo o perímetro (P) de uma circunferência igual a $2\pi r$, o raio da circunferência pode ser calculado dividindo o perímetro da circunferência por 2π . Contudo, como a dimensão do segmento de reta b , apenas corresponde a 1/4 do perímetro, o raio deve ser calculado contemplando o quádruplo da dimensão de b como perímetro e consequentemente, dividido por 2π (fig. 370).

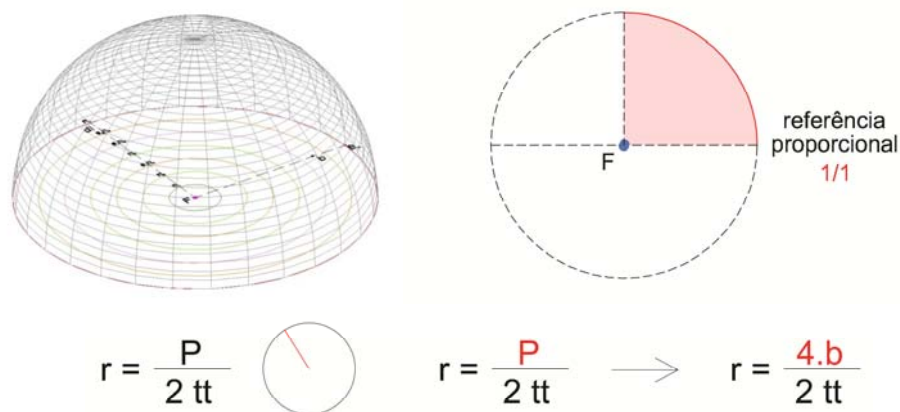


Fig. 370 – Exemplificação do cálculo do raio quando a dimensão do segmento de reta b equivale a 1/4 do perímetro de circunferência _ esfera.

As restantes ordens de grandeza proporcional estabelecidas, também definirão a sua própria amplitude. O cálculo do raio das mesmas deverá ter como referência a relação proporcional 1/1, equivalente a 90°, o que faz com que o cálculo do raio para a relação proporcional de 1/2 fosse equivalente a 45°. Isto significaria, que a dimensão do segmento de reta b , teria que estar contido em apenas 1/8 do perímetro de circunferência. Portanto, o cálculo do raio teria que contemplar oito vezes a dimensão do segmento de reta b , a dividir por 2π .

Este procedimento é exemplificado nas figuras seguintes (fig. 371 e 372), para todas as relações de grandeza proporcional, a considerar no cálculo da altura do arco.

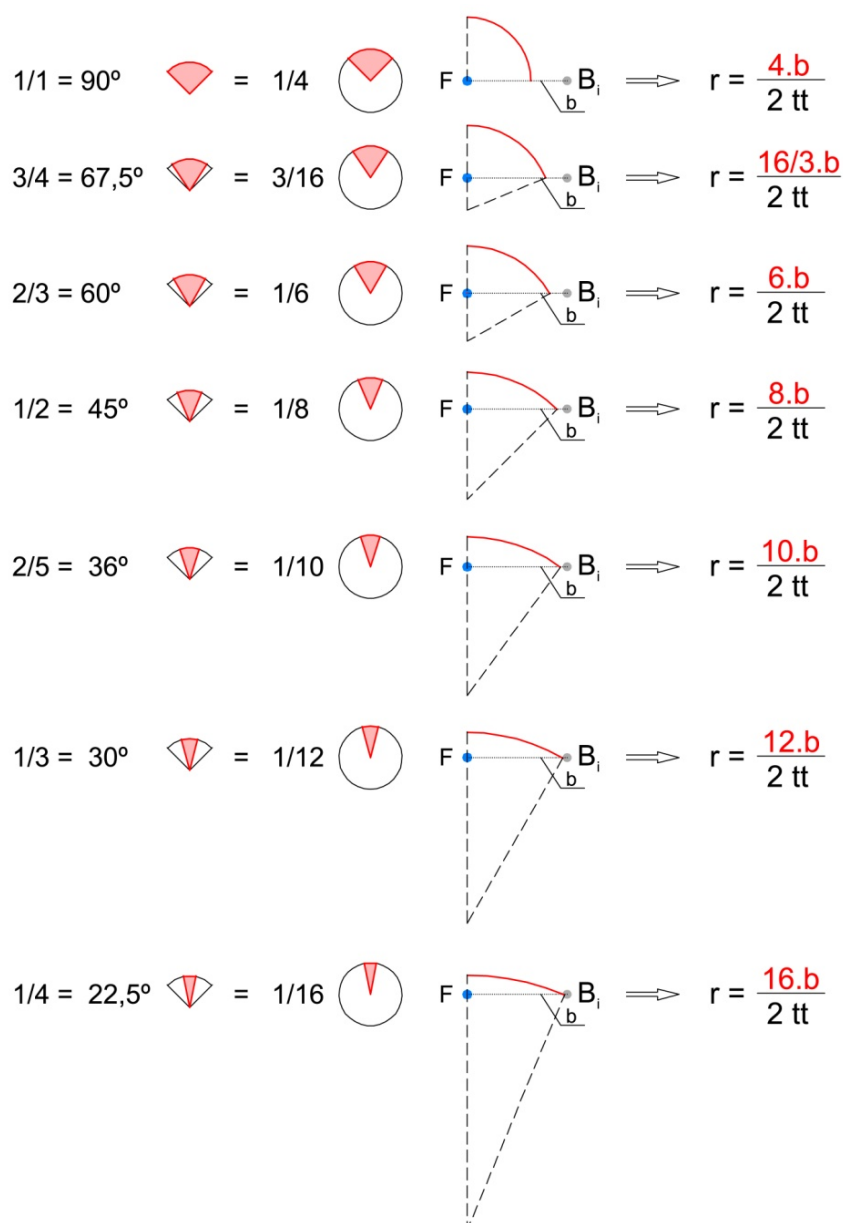


Fig. 371 – Exemplificação gráfica para cálculo do raio da superfície curva _ esfera.
Correspondência entre ordens de grandeza proporcional e ângulos.

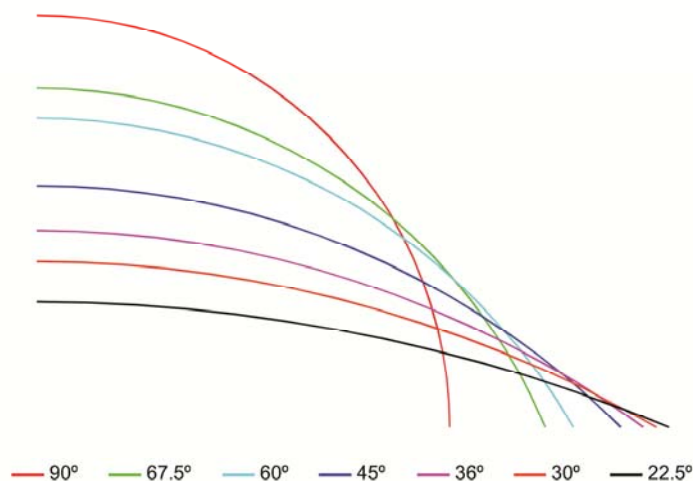


Fig. 372 – Comparação das diversas alturas do arco geradas pelas diferentes relações de grandeza proporcional.

Resumindo, o cálculo do raio do arco sobre o segmento de reta b pode ser calculado do seguinte modo: $r = (1/x.b) / 2tt$, em que b corresponde à dimensão do segmento de reta b e x corresponde à quantidade de vezes que a dimensão do segmento de reta b se repete num perímetro de circunferência. Consoante o valor preestabelecido para x (ver fig. X), maior ou menor será a amplitude do arco.

Para que o segmento de reta b referencial não defina continuamente arcos a partir do ponto F , de igual ou diferente amplitude, o segmento de reta b muda as propriedades geométricas da linha, passando de uma linha contínua para uma linha tracejada, após a primeira aplicação da regra (fig. 373 e 374).

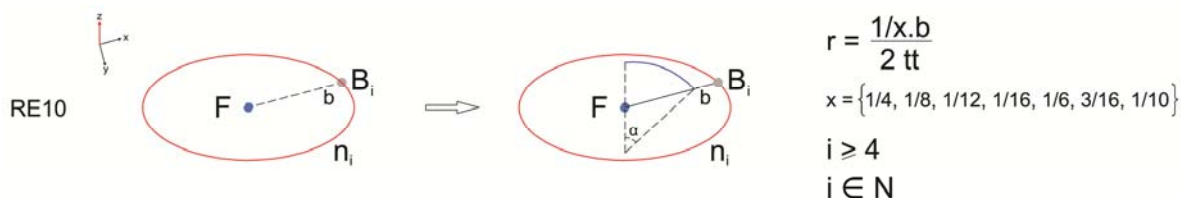


Fig. 373 – Descrição geométrica e algébrica da regra RE10.

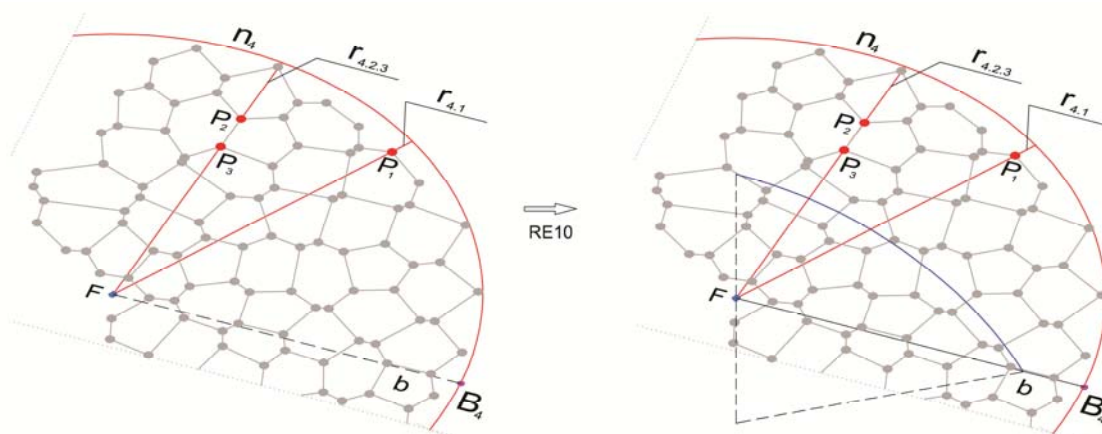


Fig. 374 – Exemplo de aplicação da regra RE10. Definição de um arco com um ângulo de 60° ($x = 1/6$).

4.5 Transferência dos pontos do plano bidimensional para a superfície espacial

O processo de transferência dos pontos passa por fazer coincidir na superfície curva o local correspondente à sua localização no plano bidimensional, por via de uma relação de conversão entre distâncias e ângulos. Para se efetuar tal operação, o referencial tem que ser comum, situando-se este no ponto F.

_ RE11 – Duplicação do arco da superfície nas linhas de raio $m_{i,x}$. (Toro).

Para transportar os pontos para o espaço é necessário copiar para cada linha do raio n_i o mesmo perfil da superfície geométrica. Para que a regra não continue a associar repetidamente o mesmo arco sobre a mesma linha de raio n_i ($m_{i,x}$), este muda de cor, passando de vermelho para verde (fig. 375 e 376).

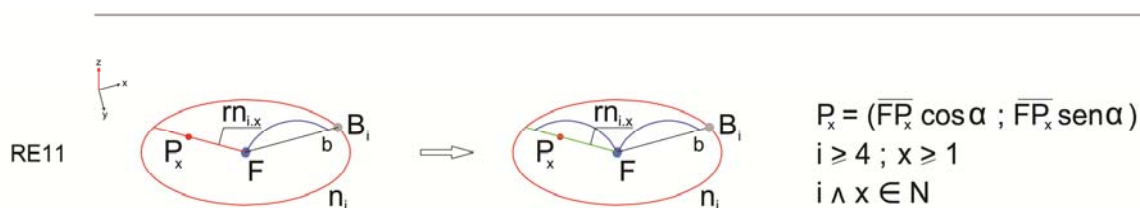


Fig. 375 – Descrição geométrica e algébrica da regra RE11

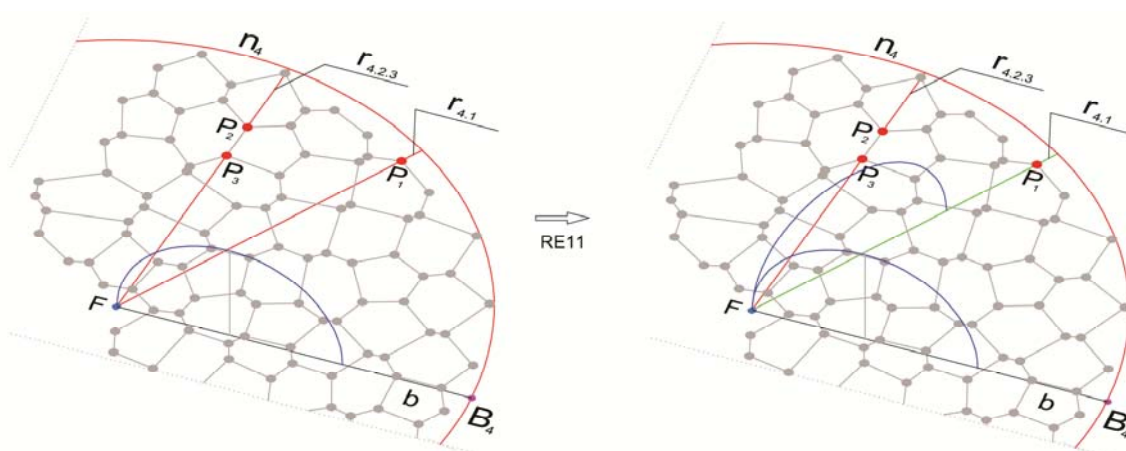


Fig. 376 – Exemplo de aplicação da regra RE11.
Colocação de um arco sobre a linha de raio $r_{4,1}$.

_ RE12 – Duplicação do arco da superfície nas linhas de raio $m_{i,x \cdot x+1}$. (Toro).

No caso das linhas de raio de n_i que contêm dois pontos ($m_{i,x \cdot x+1}$), o procedimento é idêntico ao descrito na regra RE11 (fig. 377 e 378).

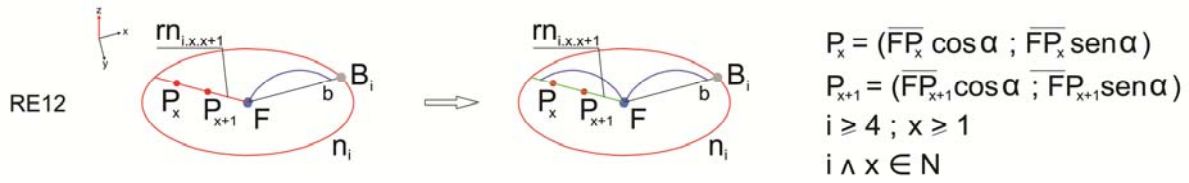


Fig. 377 – Descrição geométrica e algébrica da regra RE12.

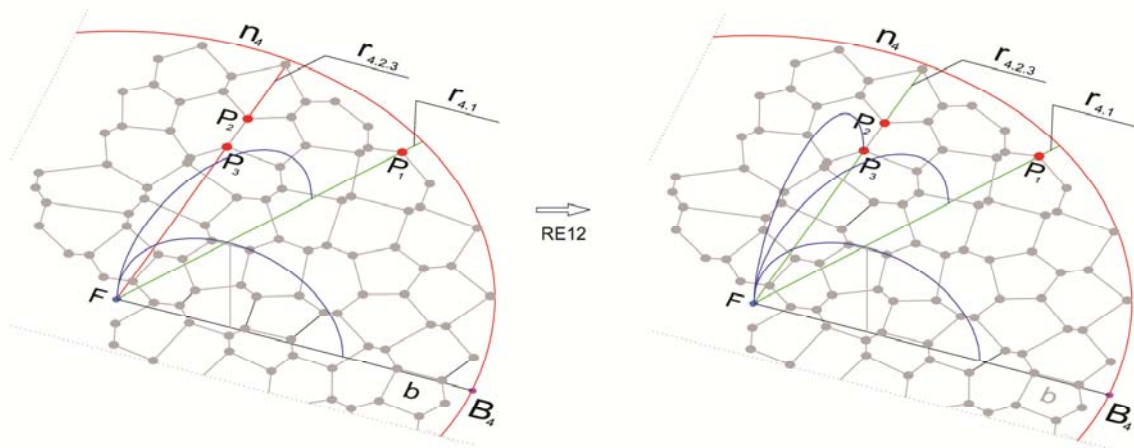


Fig. 378 – Exemplo de aplicação da regra RE12.
Colocação de um arco sobre a linha de raio $r_{4,2,3}$.

_ RE13 – Duplicação do arco da superfície nas linhas de raio $rn_{i,x}$. (Esfera).

Na superfície esférica, a transposição dos pontos para o espaço, requer que se copie para cada linha do raio n_i o mesmo perfil da superfície geométrica. Para que a regra não continue a associar repetidamente o mesmo arco sobre a mesma linha de raio de n_i ($rn_{i,x}$), este muda de cor, passando de vermelho para verde (fig. 379 e 380).

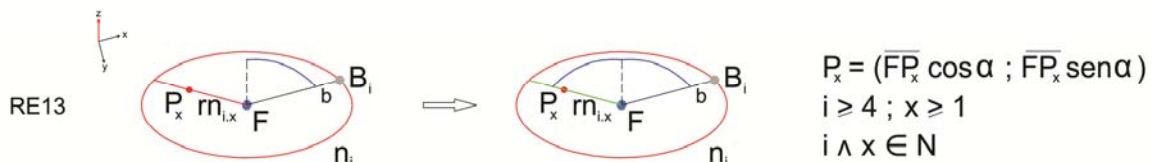


Fig. 379 – Descrição geométrica e algébrica da regra RE13.

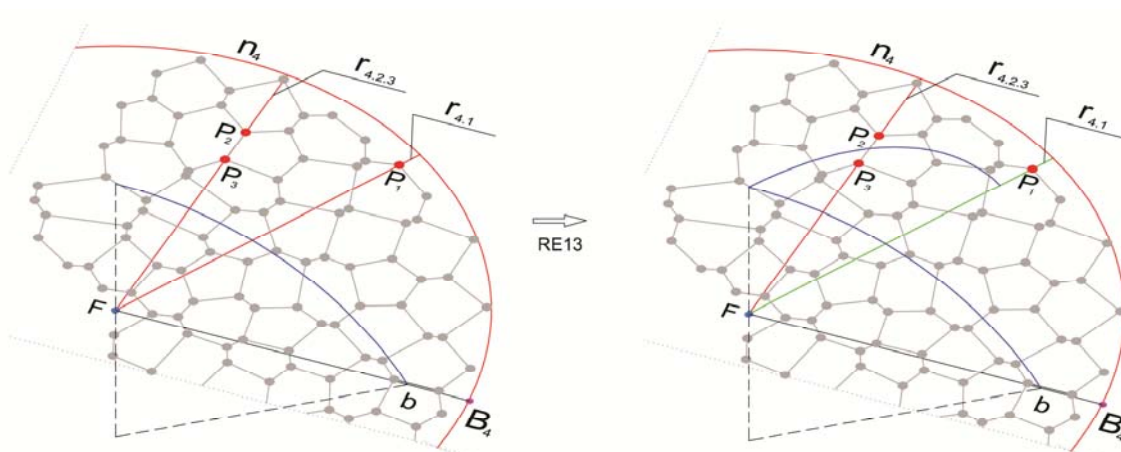


Fig. 380 – Exemplo de aplicação da regra RE13.
Colocação de um arco sobre a linha de raio $r_{4,1}$.

_ RE14 – Duplicação do arco da superfície nas linhas de raio $rn_{i,x \cdot x+1}$. (Esfera).

No caso das linhas de raio de n_i que contêm dois pontos ($rn_{i,x \cdot x+1}$), o procedimento é idêntico ao descrito na regra RE13 (fig. 381 e 382).

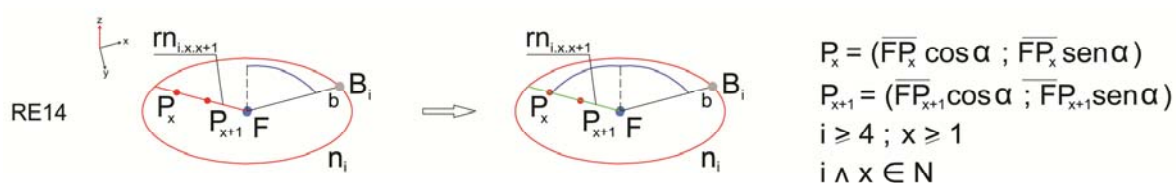


Fig. 381 - Descrição geométrica e algébrica da regra RE14.

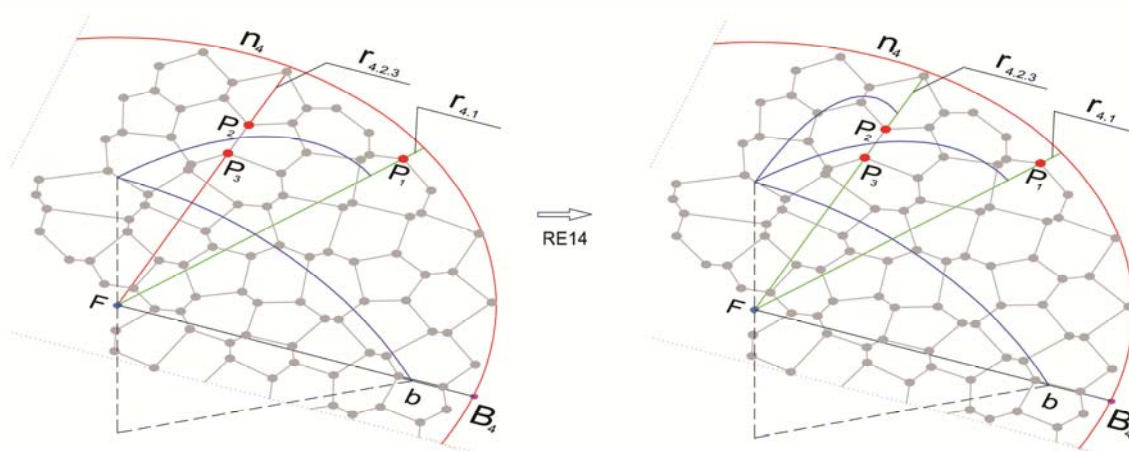


Fig. 382 – Exemplo de aplicação da regra RE14.
Colocação de um arco sobre a linha de raio $r_{4,2,3}$.

RE15 – Transposição do ponto P_x em $rn_{i,x}$ para o arco da superfície. (Toro).

A transposição de pontos de uma superfície plana para a superfície curva do toro é feita mediante a conversão de distâncias em ângulos. Para executar a transposição de um ponto contido num segmento de reta, cuja dimensão reflete-se no perímetro do arco, deve-se ter em conta os seguintes pontos:

1 - A transposição da dimensão do segmento de reta b para um arco, define que essa dimensão ficou associada a um determinado ângulo α . Isto significa, que os dois pontos de delimitam o segmento de reta (F e B_i) ficam logo à partida associados ao ângulo mínimo e máximo da amplitude do arco ($F = 0^\circ$ e $B_i = \alpha$) (fig. 383).

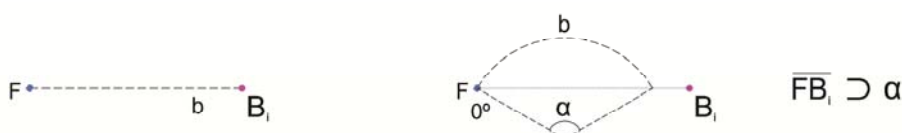


Fig. X – Correspondência dos pontos definidores do segmento de reta b aos ângulos extremos do arco _ Toro.

2 – Se os pontos F e B_i definem os extremos do ângulo α , então qualquer ponto (T) situado no segmento de reta b , tem que ter no arco definido, um ângulo correspondente à distância a que este se encontra do ponto F . Portanto, se α corresponde a distância entre os pontos F e B_i , a distância entre os pontos F e T tem que corresponder um ângulo β , situado no intervalo de valores $[0^\circ, \alpha]$ (fig. 384).

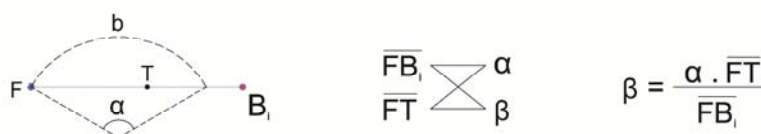
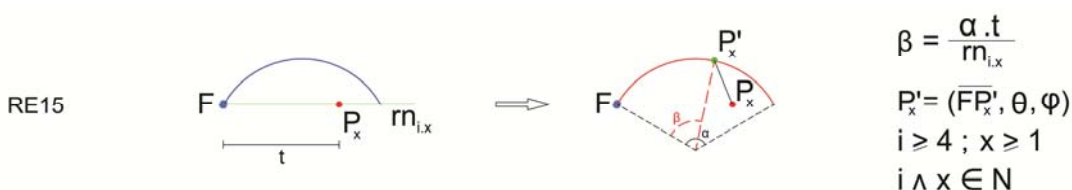


Fig. 384 – Transformação de uma distância num ângulo _ Toro.

Descrito, o processo de transposição dos pontos para uma superfície curva, como é esta introduzida na gramática? A aplicação da regra RE7, ao associar a cada ponto P_x um segmento de reta equivalente ao raio de n_i ($rn_{i,x}$), permitem saber a que distância se encontram os pontos P_x do ponto F . Tendo a regra RE11, associado um arco a cada um desses raios, cujo perímetro reflete a dimensão de $rn_{i,x}$, a transposição da dimensão do ponto P_x ao ponto F sobre $rn_{i,x}$, ficará definida no arco pelo ponto P'_x com um determinado ângulo β . O ponto P_x e o seu correspondente no arco (P'_x) ficarão unidos por um segmento de reta.

Para que a regra não continue a gerar continuamente o mesmo ponto após a sua primeira aplicação, a cor do arco muda, passando de azul para vermelho (fig. 385 e 386).



$$\beta = \frac{\alpha \cdot t}{rn_{i,x}}$$

$$P'_x = (FP'_x, \theta, \varphi)$$

$$i \geq 4 ; x \geq 1$$

$$i \wedge x \in \mathbb{N}$$

Fig. 385 – Descrição geométrica e algébrica da regra RE15.

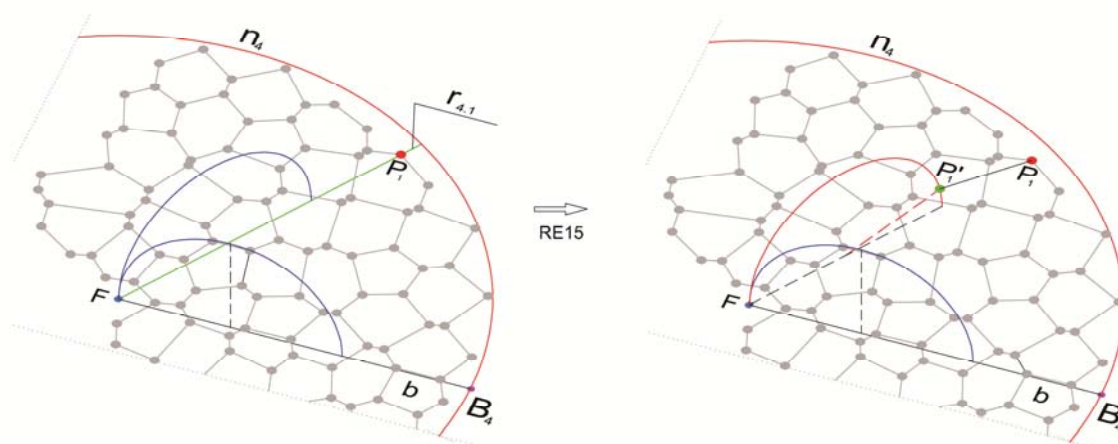


Fig. 386 – Exemplo de aplicação da regra RE15.
Geração do ponto P'_1 , pela transposição do ponto P_1 para o arco da superfície.

RE16 – Transposição do ponto P_x em $rn_{j,x,x+1}$. para o arco da superfície. (Toro).

O processo para a transposição de pontos é idêntico ao descrito na regra RE15. Neste caso, a regra RE8, definiu um conjunto de raios ($\mathbf{r}_{i,x,x+1}$) que detinham a particularidade de abranger dois pontos (P_x e P_{x+1}). Tendo a regra RE12, associado um arco a cada um desses raios, cujo perímetro reflete a dimensão de $\mathbf{r}_{i,x,x+1}$, a transposição da dimensão do ponto P_x ao ponto F sobre $\mathbf{r}_{i,x,x+1}$, ficará definida no arco pelo ponto P'_x com um determinado ângulo (β_x). Quanto à transposição da dimensão do ponto P_{x+1} ao ponto F sobre $\mathbf{r}_{i,i,x+1}$, ficará definida no arco pelo ponto P'_{x+1} com um determinado ângulo (β_{x+1}). Os pontos P_x e P_{x+1} serão unidos aos pontos correspondentes do arco (P'_x e P'_{x+1}) mediante um segmento de reta

Para que a regra não continue a gerar continuamente o mesmo ponto após a primeira aplicação, a cor do arco muda, passando de azul para vermelho (fig. 387 e 388).

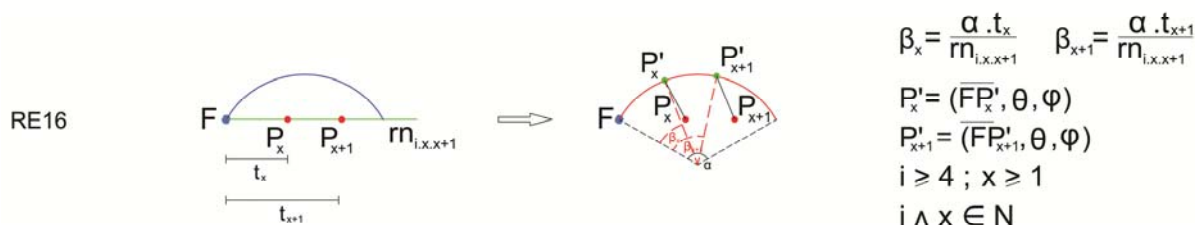


Fig. 387 – Descrição geométrica e algébrica da regra RE16.

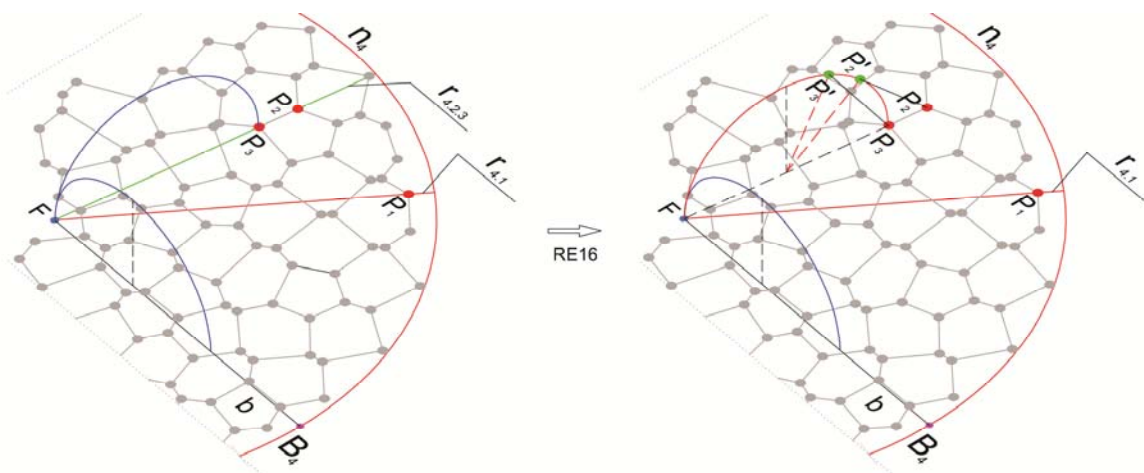


Fig. 388 – Exemplo de aplicação da regra RE16.
Geração do ponto P'_2 , pela transposição do ponto P_2 para o arco da superfície.

_ RE17 – Transposição do ponto P_x em $rn_{i,x}$, para o arco da superfície. (Esfera).

A transposição de pontos de uma superfície plana para uma superfície esférica é feita mediante a conversão de distâncias em ângulos. Para executar a transposição de um ponto contido num segmento de reta, cuja dimensão reflete-se no perímetro do arco, deve-se ter em conta os seguintes pontos:

1 - A transposição da dimensão do segmento de reta b para um arco, define que essa dimensão ficou associada a um determinado ângulo α . Isto significa que os dois pontos de delimitam o segmento de reta (F e B_i) ficam logo à partida associados ao ângulo mínimo e máximo da amplitude do arco ($F = 0^\circ$ e $B_i = \alpha$) (fig. 389).

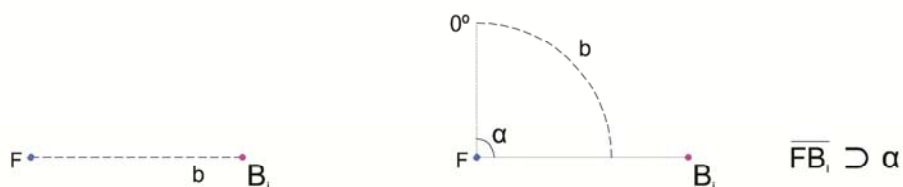


Fig. 389 – Correspondência dos pontos definidores do segmento de reta b aos ângulos extremos do arco _ esfera.

2 – Se os pontos F e B_i , definem os extremos do ângulo α , então qualquer ponto (T) situado no segmento de reta b , tem que ter no arco definido, um ângulo correspondente à distância a que este se encontra do ponto F no segmento de reta b . Portanto, se α corresponde a distância entre os pontos F e B_i , à distância entre os pontos F e T tem que corresponder um ângulo β , situado no intervalo de valores $[0^\circ, \alpha]$ (fig. 390).

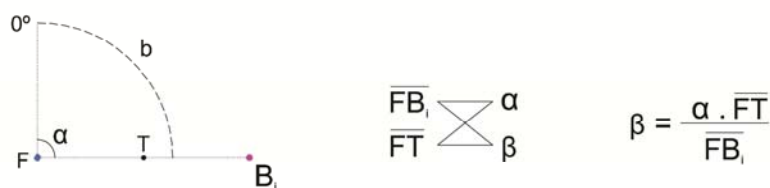


Fig. 390 – Transformação de uma distância num ângulo _ esfera.

Descrito, o processo de transposição dos pontos para uma superfície esférica, esta informação é introduzida na gramática da seguinte forma. A aplicação da regra RE7, ao associar a cada ponto P_x um segmento de reta equivalente ao raio de \mathfrak{n}_i ($\mathfrak{n}_{i,x,x+1}$), permite saber a que distância se encontram os pontos P_x do ponto F. Tendo a regra RE13, associado um arco a cada um desses raios, cujo perímetro reflete a dimensão de $\mathfrak{n}_{i,x}$, a transposição da dimensão do ponto P_x ao ponto F sobre $\mathfrak{n}_{i,x,x+1}$, ficará definida no arco pelo ponto P'_x com um determinado ângulo β . O ponto P_x e o ponto correspondente no arco (P'_x) ficarão unidos por um segmento de reta.

Para que a regra não continue a gerar continuamente o mesmo ponto após a primeira aplicação, a cor do arco muda, passando de azul para vermelho (fig. 391 e 392).

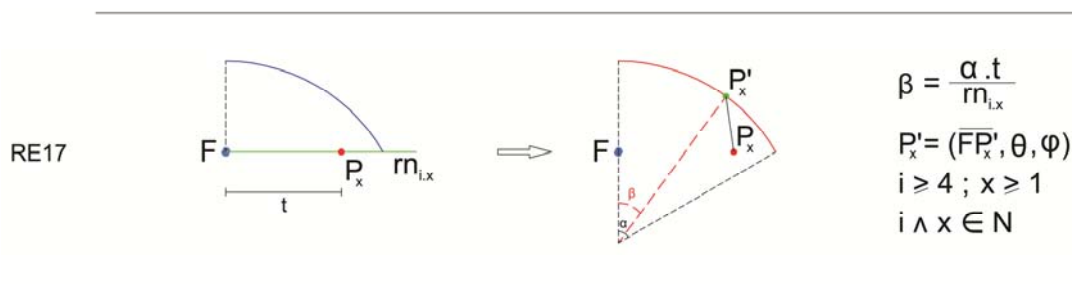


Fig. 391 – Descrição geométrica e algébrica da regra RE17.

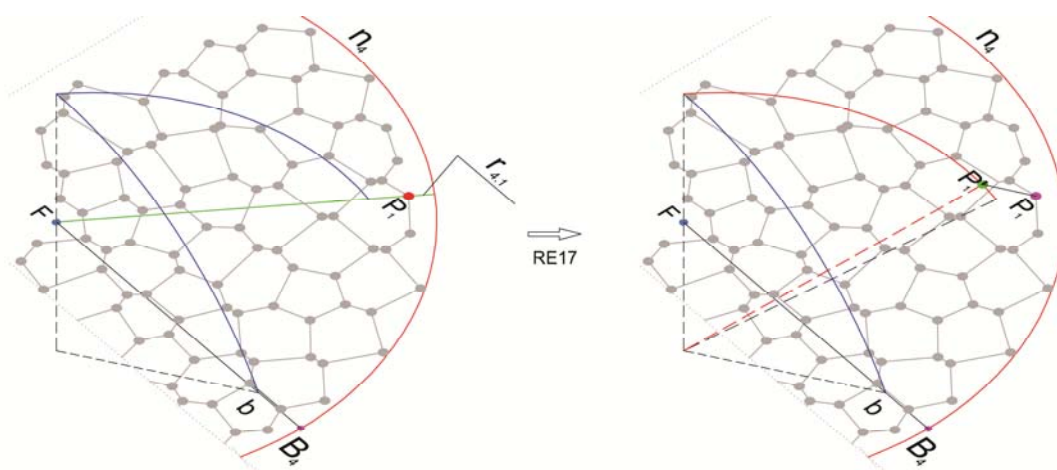


Fig. 392 – Exemplo de aplicação da regra RE17.

Geração do ponto P'_1 , pela transposição do ponto P_1 para o arco da superfície.

– RE18 – Transposição do ponto P_x em $\mathfrak{n}_{i,x,x+1}$ para o arco da superfície. (Esfera).

O processo para a transposição de pontos é idêntico ao descrito na regra RE17. Neste caso, a regra RE8, definiu um conjunto de raios ($\mathfrak{n}_{i,x,x+1}$) que detinham a particularidade de abranger dois pontos (P_x e P_{x+1}). Tendo a regra RE14, associado um arco a cada um desses raios, cujo perímetro reflete a dimensão de $\mathfrak{n}_{i,x,x+1}$, a transposição da dimensão do ponto P_x ao ponto F sobre $\mathfrak{n}_{i,x,x+1}$, ficará definida no arco pelo ponto P'_x com um determinado ângulo (β_x). Quanto à transposição da dimensão do ponto P_{x+1} ao ponto F sobre $\mathfrak{n}_{i,x,x+1}$, ficará definida no arco pelo ponto P'_{x+1} com um determinado ângulo (β_{x+1}). Os pontos P_x e P_{x+1} serão unidos aos pontos correspondentes do arco (P'_x e P'_{x+1}) mediante um segmento de reta

Para que a regra não continue a gerar continuamente o mesmo ponto após a primeira aplicação, a cor do arco muda, passando de azul para vermelho (fig. 393, 394 e 395).

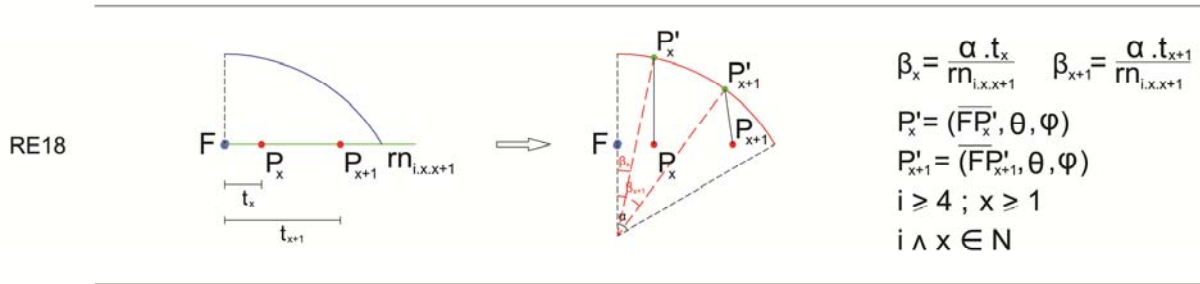


Fig. 393 – Descrição geométrica e algébrica da regra RE18.

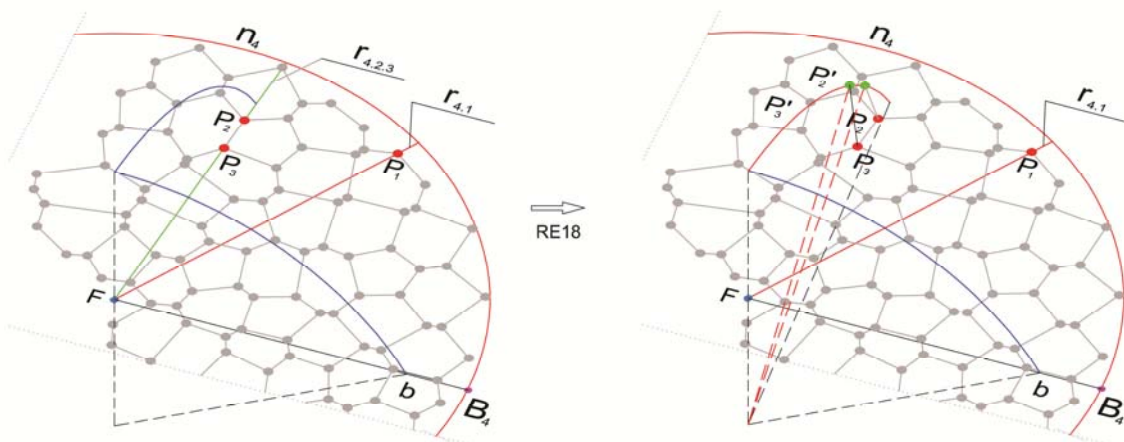


Fig. 394 – Exemplo de aplicação da regra RE18.
Geração do ponto P'_2 , pela transposição do ponto P_2 para o arco da superfície.

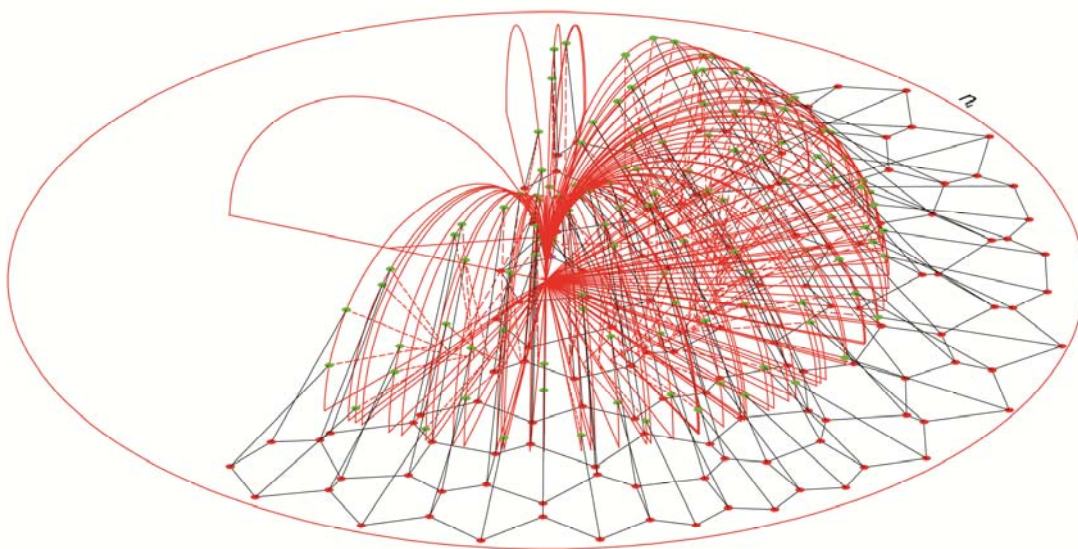


Fig. 395 – Exemplo de uma composição geométrica bidimensional, com todos os pontos transferidos para a superfície tridimensional (Toro).

4.6 Definição da composição geométrica final _ simplificação

Definidos todos os pontos nos arcos da superfície tridimensional, o passo seguinte destina-se à construção da composição geométrica na superfície tridimensional. Para tal, as regras descritas serão algumas de caráter simplificativo, que irão retirar todos os elementos auxiliares que se vão tornando desnecessários na composição geométrica e outras de caráter generativo, que irão modelar a composição geométrica num corpus tridimensional.

_ RE19 – Remoção do segmento de reta b (bissetriz) e arco inicial (Toro)

Após a colocação do arco da superfície tridimensional sobre todas as linhas de raio de Π_i (ver regras RE11 e RE12), o segmento de reta definido pelos pontos F e B_i , bem como o arco nele definido, deixam de exercer um papel generativo na composição estrutural, podendo ser removidos (fig. 396 e 397).

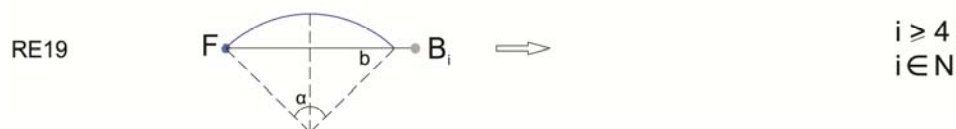


Fig. 396 – Descrição geométrica e algébrica da regra RE19.

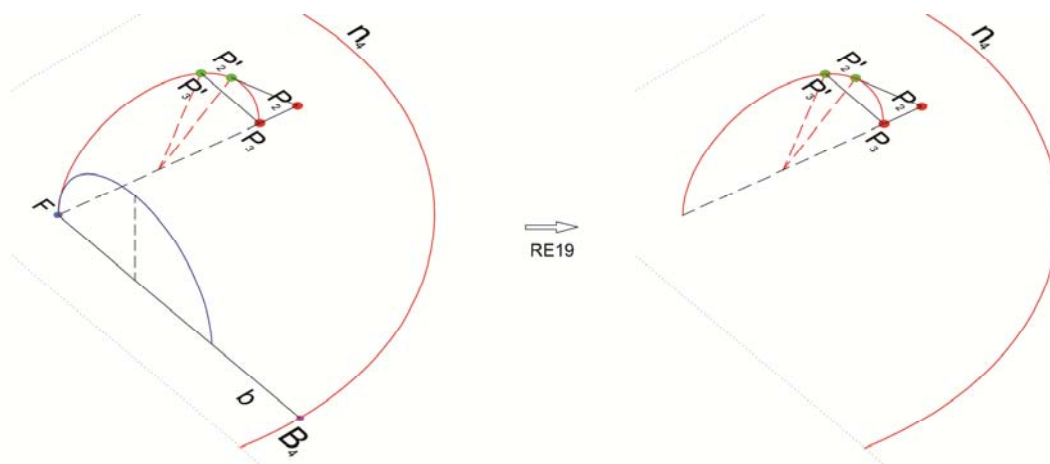


Fig. 397 – Exemplo de aplicação da regra RE19.
Remoção do segmento de reta b definido pelos pontos F e B_4 e respectivo arco.

_ RE20 – Remoção do segmento de reta b (bissetriz) e arco inicial (Torus)

A operação efetuada na regra 19, pode também ser realizada nas composições geométricas de superfície esférica. Também nestes casos, o segmento de reta b , bem como o arco a a ele associado, devem ser removidos após terminada a duplicação do arco por todas as linhas de raio (ver

regras RE13 e RE14). Também deve ser removido a par do segmento de reta b , os seus pontos limitadores (F e B_i) (fig. 398 e 399).

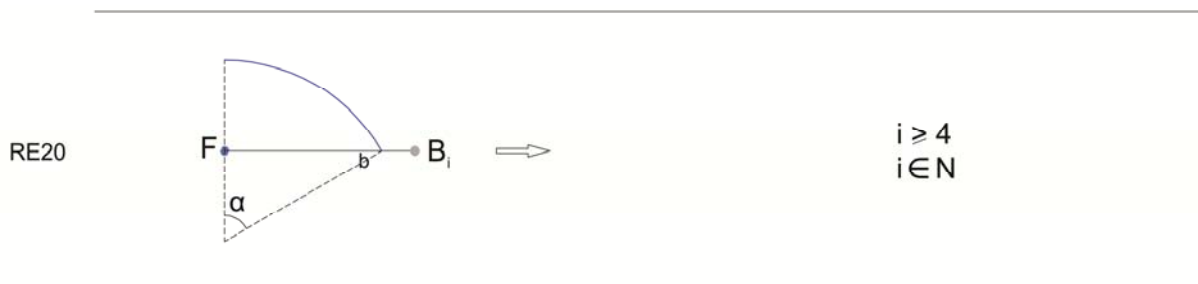


Fig. 398 – Descrição geométrica e algébrica da regra RE20.

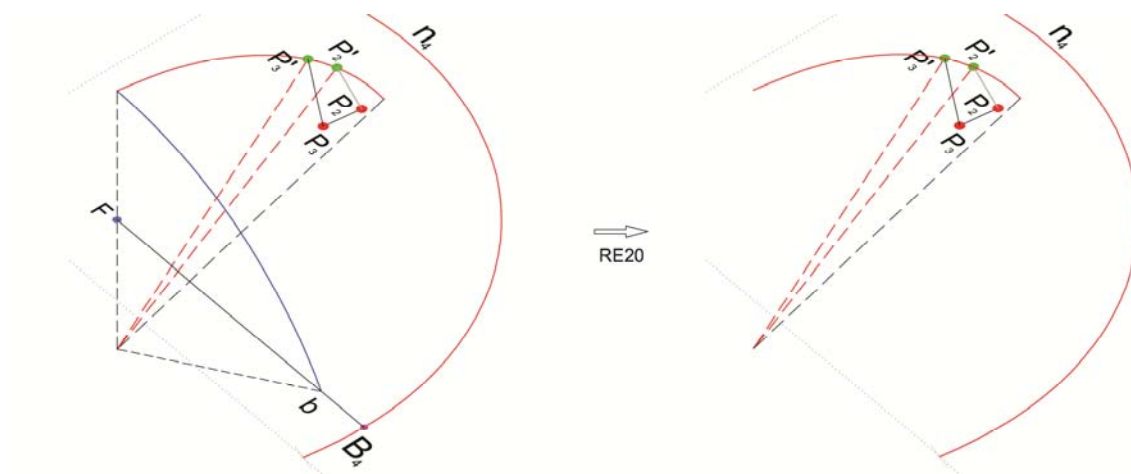


Fig. 399 – Exemplo de aplicação da regra RE20.
Remoção do segmento de reta b definido pelos ponto F e B_4 e respetivo arco.

RE21 – Remoção dos arcos da superfície tridimensional (toro).

Os arcos da superfície tridimensional, quando representados na cor vermelha, indicam que já contêm todos os pontos da composição geométrica que lhes estavam destinados, portanto, podem ser retirados (fig. 400 e 401).

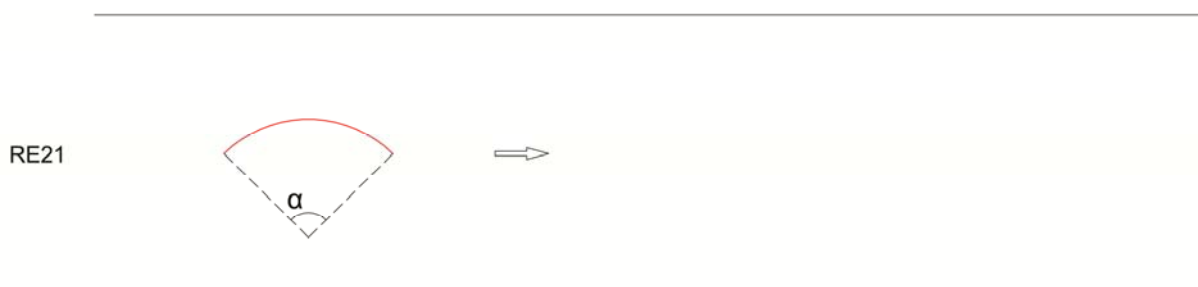


Fig. 400 – Descrição geométrica da regra RE21.

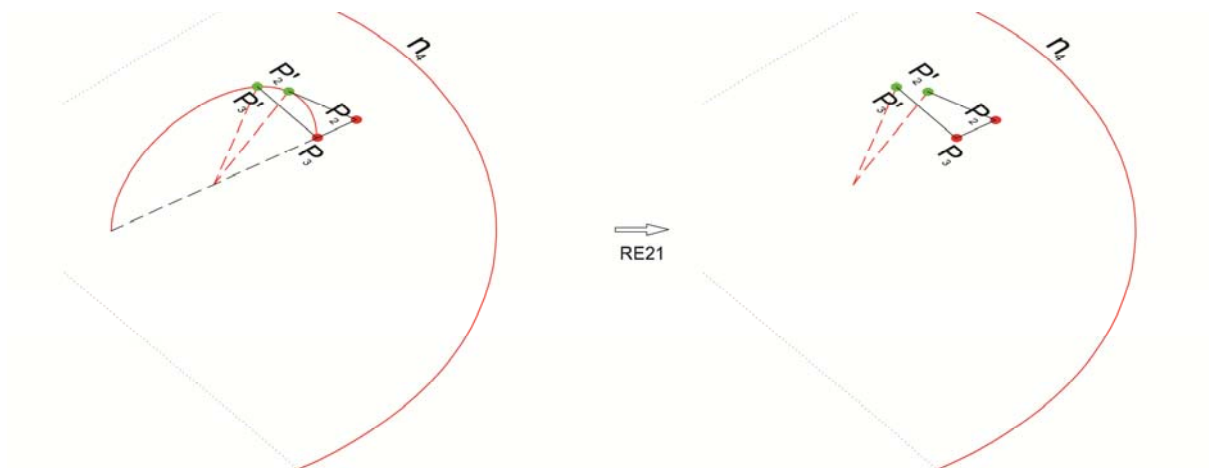


Fig. 401 – Exemplo de aplicação da regra RE21.
Remoção do arco da superfície do toro onde se localizam os pontos P'_2 e P'_3 .

_ RE22 – Remoção dos arcos da superfície tridimensional (esfera).

Nas superfícies esféricas, os arcos de cor vermelha também já contêm todos os pontos da composição geométrica que lhes estavam destinados. Assim sendo, estes deixam de desempenhar uma função generativa na composição geométrica, podendo ser retirados (fig. 402 e 403).



Fig. 402 – Descrição geométrica da regra RE22.

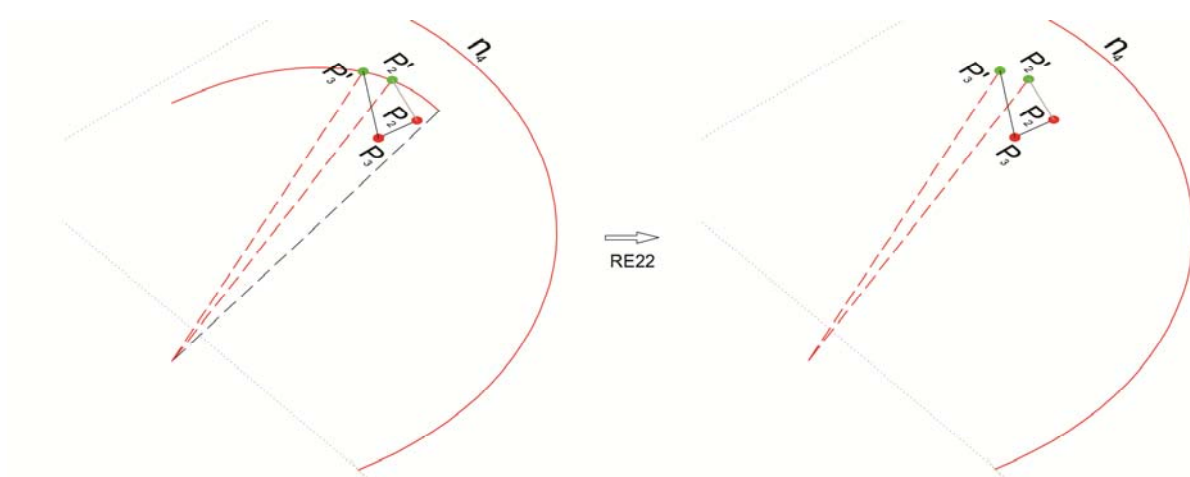


Fig. 403 – Exemplo de aplicação da regra RE22.
Remoção do arco da superfície esférica onde se localizam os pontos P'_2 e P'_3 .

_ *RE23 – Remoção das linhas de ângulo.*

As linhas de ângulo são as linhas que fizeram a correspondência dos pontos situados sob o plano bidimensional para um ângulo da superfície tridimensional. Estas linhas podem ser retiradas da composição assim que o ponto P'_y , que irá referenciar, estiver definido no arco correspondente (fig. 404 e 405).

RE23

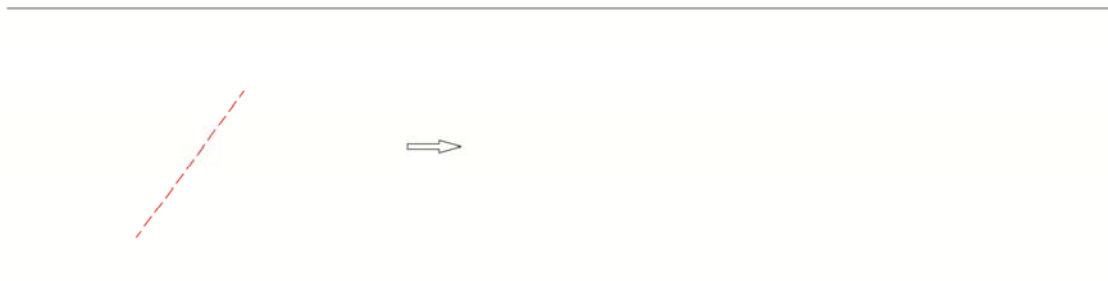


Fig. 404 – Descrição geométrica da regra RE23.

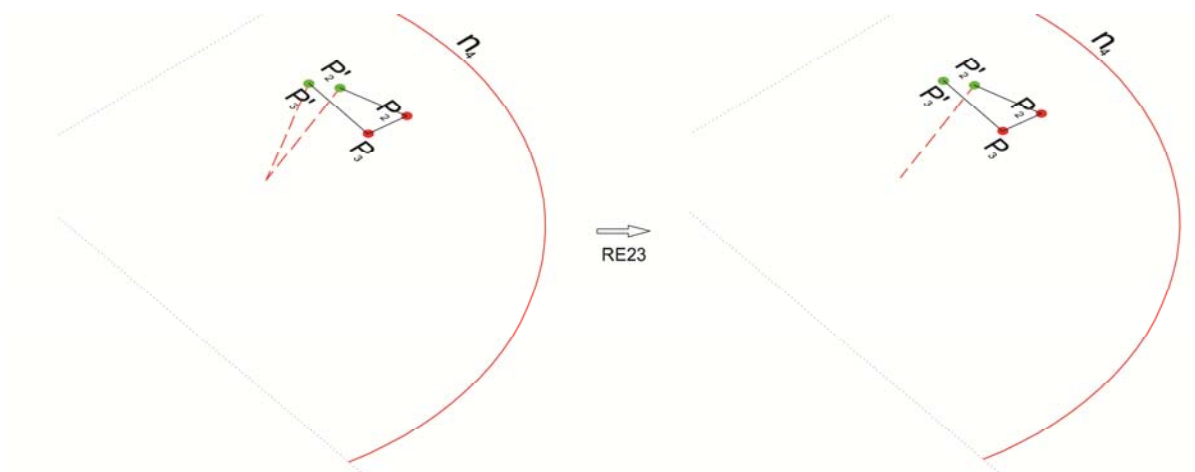


Fig. 405 – Exemplo de aplicação da regra RE23.
Remoção da linha de ângulo do ponto P'_3 .

_ *RE24 – Transposição dos segmentos de reta do perímetro dos polígonos estruturais para os pontos correspondentes no espaço.*

Sempre que os pontos que delimitam os segmentos de reta do perímetro das formas estruturais estiverem definidos na superfície espacial, os segmentos de reta a eles associados podem ser transferidos para o espaço (fig. 406 e 407).

RE24

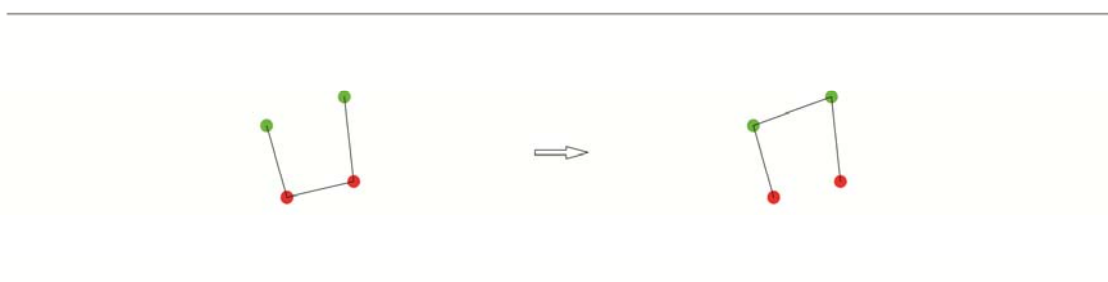


Fig. 406 – Descrição geométrica da regra RE24.

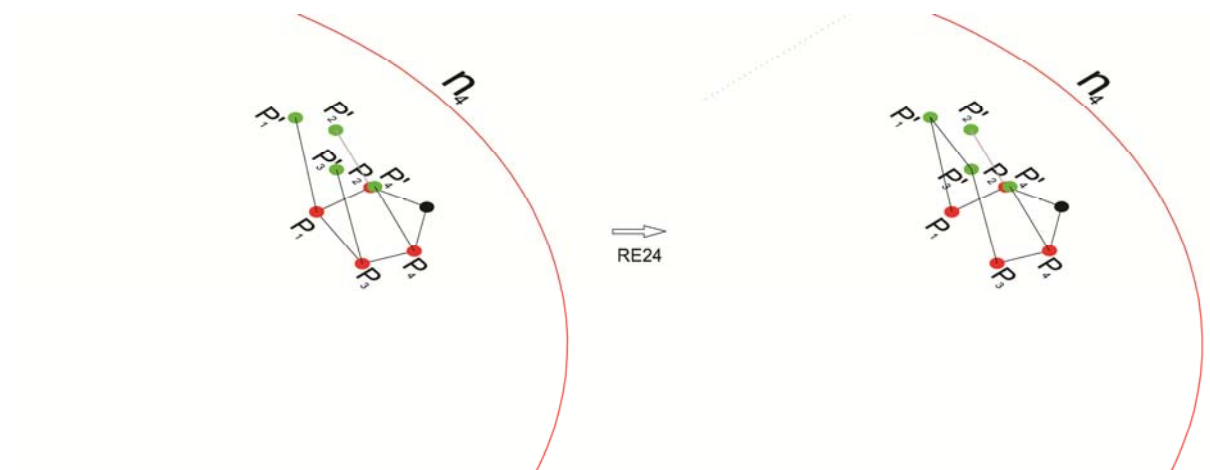


Fig. 407 – Exemplo de aplicação da regra RE24.

Transposição do segmento de reta definido pelos pontos P_2 e P_3 para os pontos P'_2 e P'_3 .

_ RE25 – Remoção dos pontos e dos segmentos de reta definidos pelos pontos P_y e P'_y .

Feita a transferência de todos os segmentos de reta correspondentes ao perímetro dos polígonos estruturais para os pontos P'_y , os pontos P_y deixam de ser definidores de qualquer segmento de reta do perímetro desses polígonos. Nestas situações, tanto os pontos P_y como os P'_y podem ser retirados. A sua remoção também inclui o segmento de reta que estabelece a sua união (fig. 408 e 409).

RE25

$$\begin{array}{c} \text{---} P'_y \text{---} P_y \end{array} \Rightarrow \begin{array}{l} y \geq 1 \\ x \in N \end{array}$$

Fig. 408 – Descrição geométrica e algébrica da regra RE25

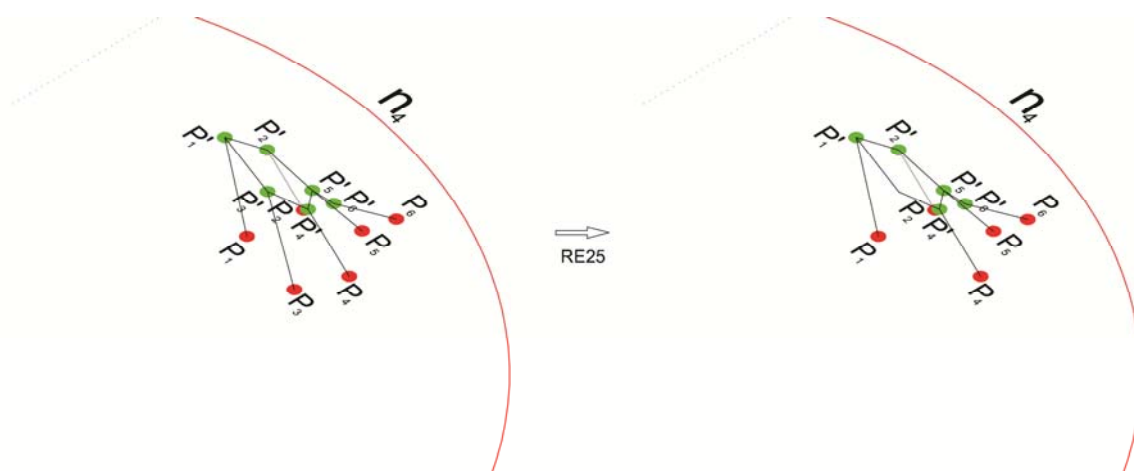


Fig. 409 – Exemplo de aplicação da regra RE25.

Remoção dos pontos P_3 e P'_3 e do segmento de reta definido pelos mesmos.

_ RE26 – Exclusão do perímetro de n_i .

Finda a transposição dos segmentos de reta para o espaço, a remoção do último nível de expansão n_i da composição geométrica, dá por concluído o processo de geração da forma (fig. 410 e 411).

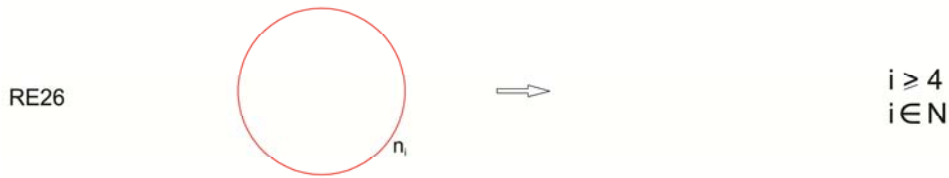


Fig. 410 – Descrição geométrica e algébrica da regra RE26.

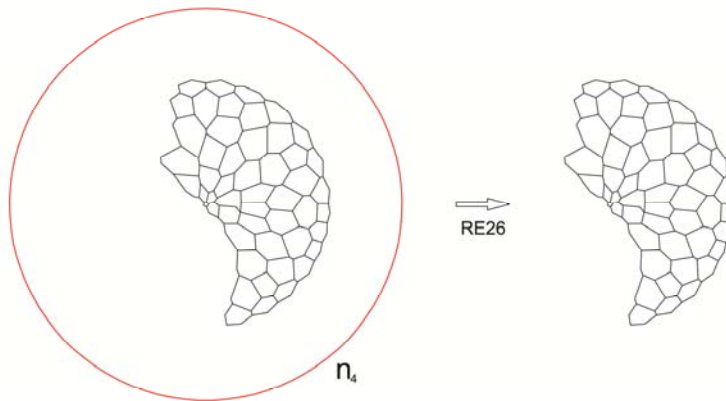


Fig. 411 – Exemplo de aplicação da regra RE26.
Remoção do nível de expansão n_4 .

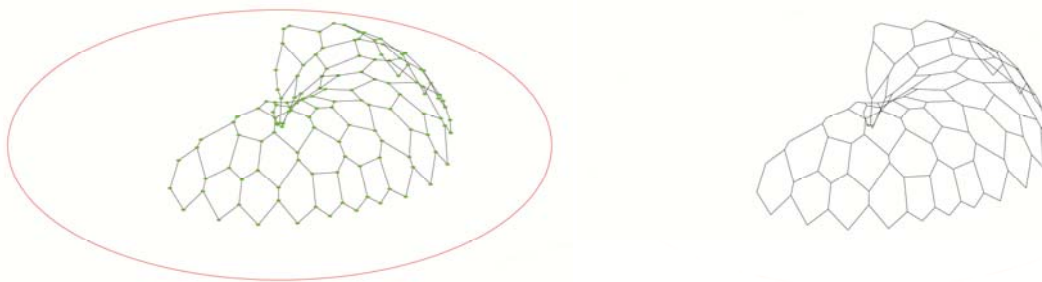


Fig. 412 – Representação tridimensional de uma composição geométrica finda a aplicação das regras espaciais.

ANEXO 3

“MODELOS GERADOS PELA FERRAMENTA DE DESENHO”

Este anexo é um complemento ao ponto 4.3.1 – Geração de modelos sobre a superfície de um toro; e ao ponto 4.3.2 – Geração de modelos sobre uma superfície esférica.

O seu propósito é a exemplificação do processo de geração de outros modelos a partir da ferramenta de desenho.

ÍNDICE

MODELOS GERADOS PELA FERRAMENTA DE DESENHO	Página
1 - Transposição das malhas bidimensionais para uma superfície esférica.....	5
Exemplo 1.....	5
Exemplo 2.....	7
Exemplo 3.....	10
2 - Transposição das malhas bidimensionais para a superfície de um toro.....	12
Exemplo 1.....	12
Exemplo 2.....	14

ÍNDICE DE FIGURAS

MODELOS GERADOS PELA FERRAMENTA DE DESENHO	Página
Figura 1 - Exemplo de uma superfície esférica referencial.....	5
Figura 2 - Fases de geração do modelo _ fases 1 e 2.....	5
Figura 3 - Fases de geração do modelo _ fases 3 e 4.....	6
Figura 4 - Visualização virtual do modelo. Perspetivas.....	6
Figura 5 - Esquema de validação do modelo.....	7
Figura 6 - Fases de geração do modelo _ fases 1 e 2.....	7
Figura 7 - Fases de geração do modelo _ fases 3 e 4.....	8
Figura 8 - Visualização virtual do modelo. Perspetivas exteriores.....	8
Figura 9 - Visualização virtual do modelo. Perspetiva interior.....	9
Figura 10 - Esquema de validação do modelo.....	9
Figura 11 - Fases de geração do modelo.....	10
Figura 12 - Visualização virtual do modelo. Perspetivas.....	10
Figura 13 - Visualização virtual do modelo. Perspetivas.....	11
Figura 14 - Esquema de validação do modelo.....	11
Figura 15 - Exemplo e uma superfície referencial do toro.....	12
Figura 16 - Fases de geração do modelo.....	12
Figura 17 - Visualização virtual do modelo. Perspetivas.....	13
Figura 18 - Esquema de validação do modelo.....	14
Figura 19 - Fases de geração do modelo _ fases 1 e 2.....	14
Figura 20 - Fases de geração do modelo _ fases 3 e 4.....	15
Figura 21 - Visualização virtual do modelo. Perspetivas exteriores.....	15
Figura 22 - Visualização virtual do modelo. Perspetiva interior.....	16
Figura 23 - Esquema de validação do modelo.....	16

MODELOS GERADOS PELA FERRAMENTA DE DESENHO

Como complemento ao processo de geração dos modelos construídos no capítulo IV, este anexo apresenta outros modelos exemplificativos gerados pela ferramenta de desenho (gramática). Estes são aqui expostos em dois distintos grupos, um contemplando modelos referenciados na superfície esférica e outro, na superfície de um toro. Cada um destes grupos contém dois exemplos. A demonstração dos mesmos contempla: um esquema exemplificativo das fases de geração do modelo, perspectivas virtuais e um esquema de validação da composição.

1 Transposição das malhas bidimensionais para uma superfície esférica



Fig. 1 – Exemplo de uma superfície esférica referencial.

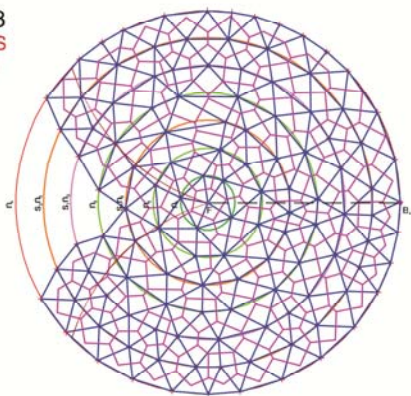
_ Exemplo 1

O modelo contém uma base estrutural com quatro níveis de expansão, onde o intervalo de expansão $[n_1, n_2]$ não contém nenhum subnível de expansão, o intervalo de expansão $[n_2, n_3]$ contém um subnível de expansão (s_1n_2) e o intervalo de expansão $[n_3, n_4]$ contém dois subníveis de expansão (s_1n_3 e s_2n_3) (consultar anexo 2 – fase 1). O modelo delineia-se sobre uma base estrutural com um ângulo de expansão de 135° (consultar anexo 2 – fase 2). A transposição da composição geométrica gerada sobre a base estrutural é transferida para uma superfície esférica com uma amplitude de 90° (consultar anexo 2 – fase 4 – ponto 4.4).



Fig. 2 – Fases de geração do modelo _ fase 1 e 2.

FASE 3
REGRAS
LOCAIS



FASE 4
REGRAS
ESPACIAIS

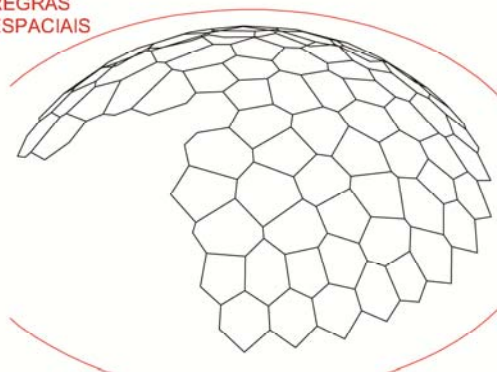


Fig. 3 – Fases de geração do modelo _ fase 3 e 4.

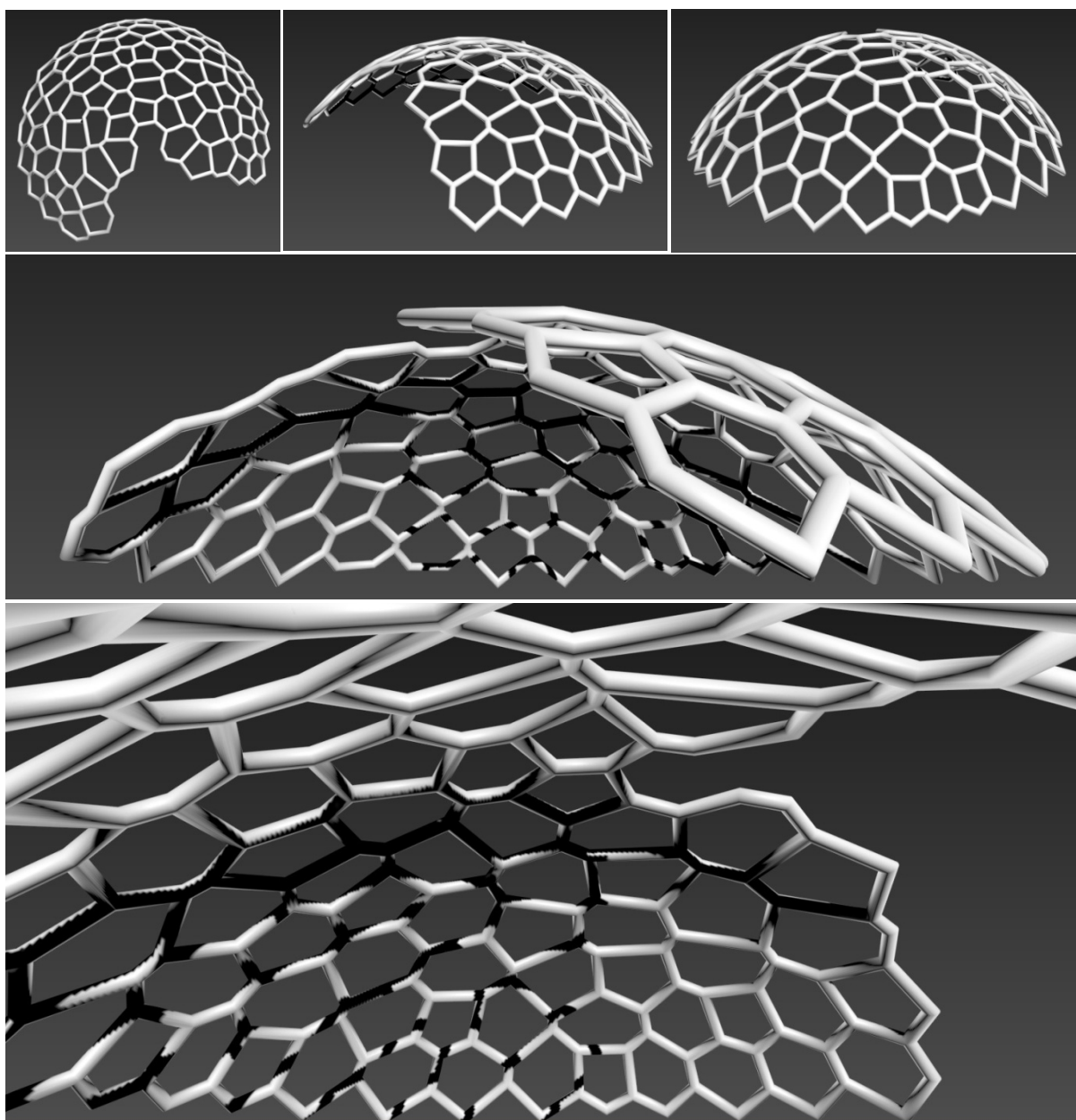


Fig. 4 – Visualização virtual do modelo. Perspectivas.

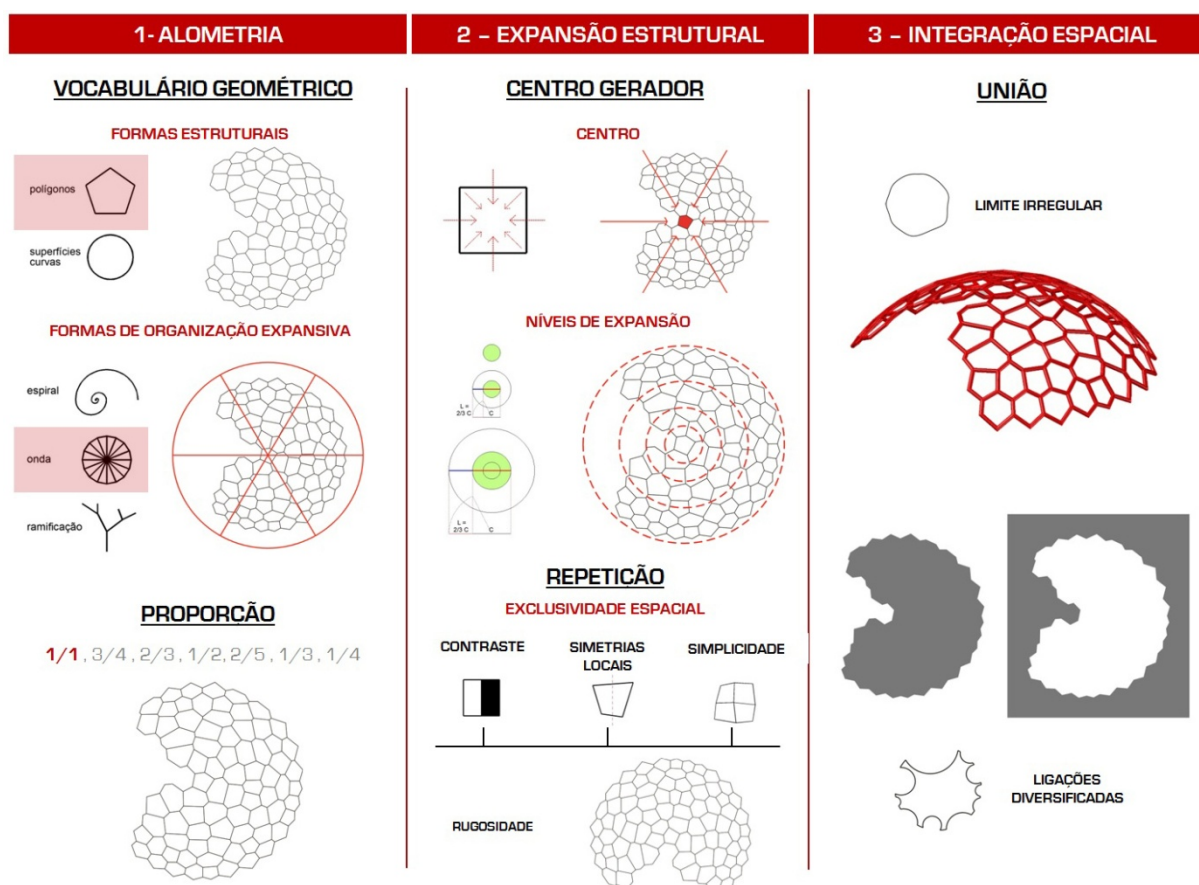


Fig. 5 – Esquema de validação do modelo.

Exemplo 2

O modelo contém uma base estrutural com seis níveis de expansão, onde o intervalo de expansão $[n_1, n_2]$ e $[n_2, n_3]$ não contém nenhum subnível de expansão, o intervalo de expansão $[n_3, n_4]$ contém dois subníveis de expansão (s_1n_3 e s_2n_3), o intervalo de expansão $[n_4, n_5]$ contém quatro subníveis de expansão ($s_1n_4, s_2n_4, s_3n_4, s_4n_4$) e o intervalo de expansão $[n_5, n_6]$ contém dez subníveis de expansão ($s_1n_5, s_2n_5, s_3n_5, s_4n_5, s_5n_5, s_6n_5, s_7n_5, s_8n_5, s_9n_5$ e $s_{10}n_5$) (consultar anexo 2 – fase 1). O modelo delineia-se sobre uma base estrutural com um ângulo de expansão de 90° (consultar anexo 2 – fase 2). A transposição da composição geométrica gerada sobre a base estrutural é transferida para uma superfície esférica com uma amplitude de 90° (consultar anexo 2 – fase 4 – ponto 4.4).

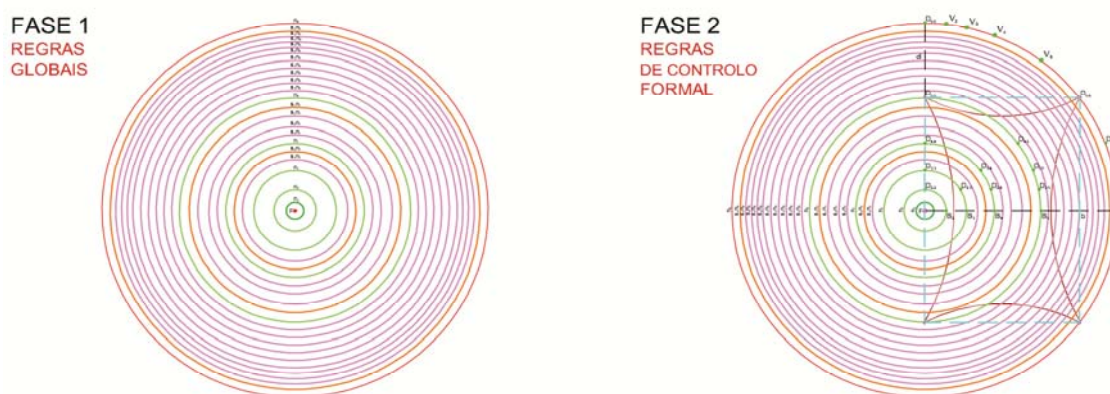
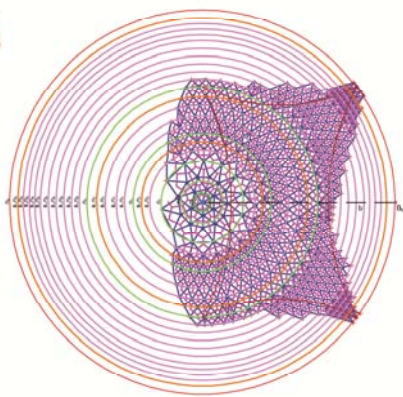


Fig. 6 – Fases de geração do modelo _ fase 1 e 2.

FASE 3
REGRAS
LOCAIS



FASE 4
REGRAS
ESPACIAIS

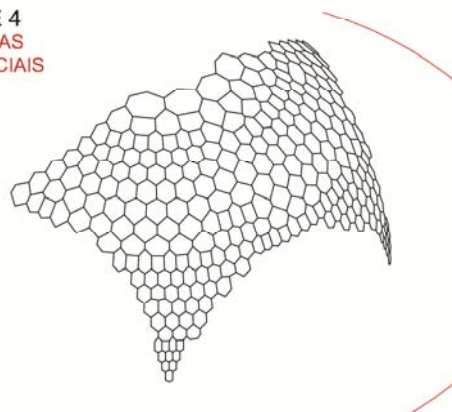


Fig. 7 – Fases de geração do modelo _ fase 3 e 4.

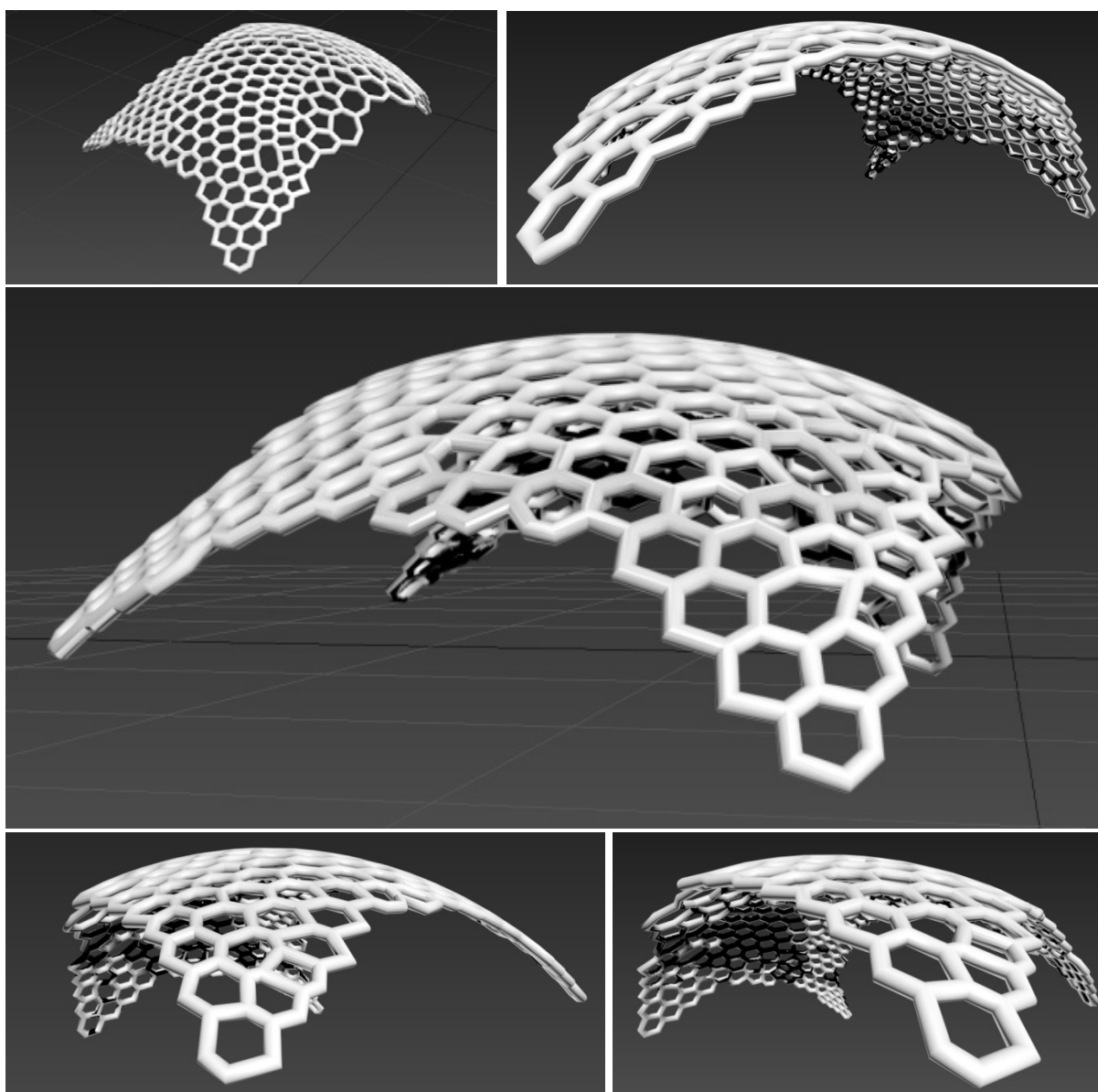


Fig. 8 – Visualização virtual do modelo. Perspectivas exteriores.

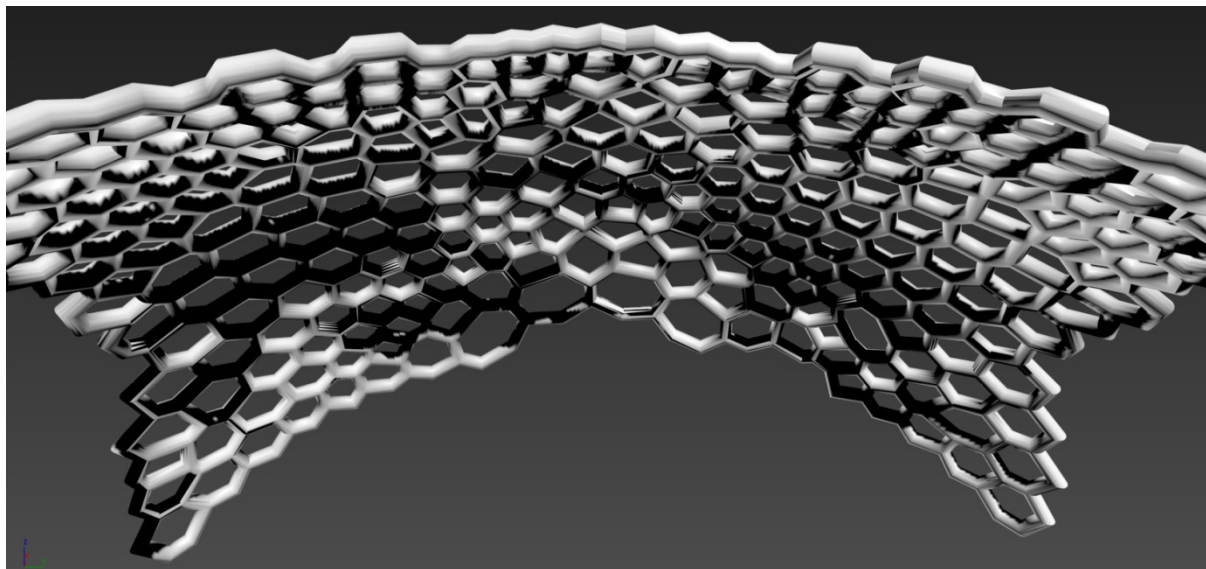


Fig. 9 – Visualização virtual do modelo. Perspectiva interior.

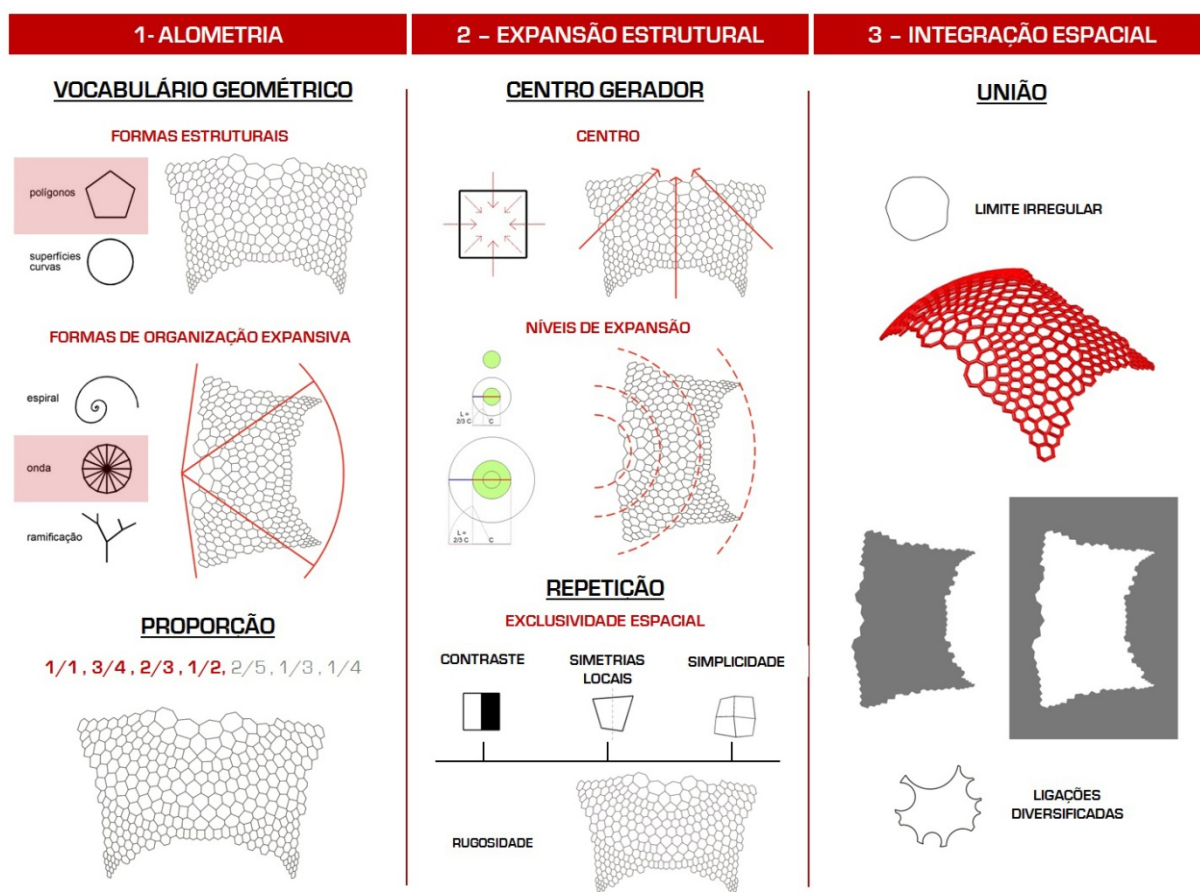


Fig. 10 – Esquema de validação do modelo.

Exemplo 3

O modelo contém uma base estrutural com seis níveis de expansão, onde o intervalo de expansão $[n_1, n_2]$ e $[n_2, n_3]$ não contém nenhum subnível de expansão, o intervalo de expansão $[n_3, n_4]$ contém dois subníveis de expansão (s_1n_3 e s_2n_3), o intervalo de expansão $[n_4, n_5]$ contém quatro subníveis de expansão ($s_1n_4, s_2n_4, s_3n_4, s_4n_4$) e o intervalo de expansão $[n_5, n_6]$ contém dez subníveis de expansão ($s_1n_5, s_2n_5, s_3n_5, s_4n_5, s_5n_5, s_6n_5, s_7n_5, s_8n_5, s_9n_5$ e $s_{10}n_5$) (consultar anexo 2 – fase 1). O modelo delinea-se sobre uma base estrutural com um ângulo de expansão de 90° (consultar anexo 2 – fase 2). A transposição da composição geométrica gerada sobre a base estrutural é transferida para uma superfície esférica com uma amplitude de 90° (consultar anexo 2 – fase 4 – ponto 4.4).

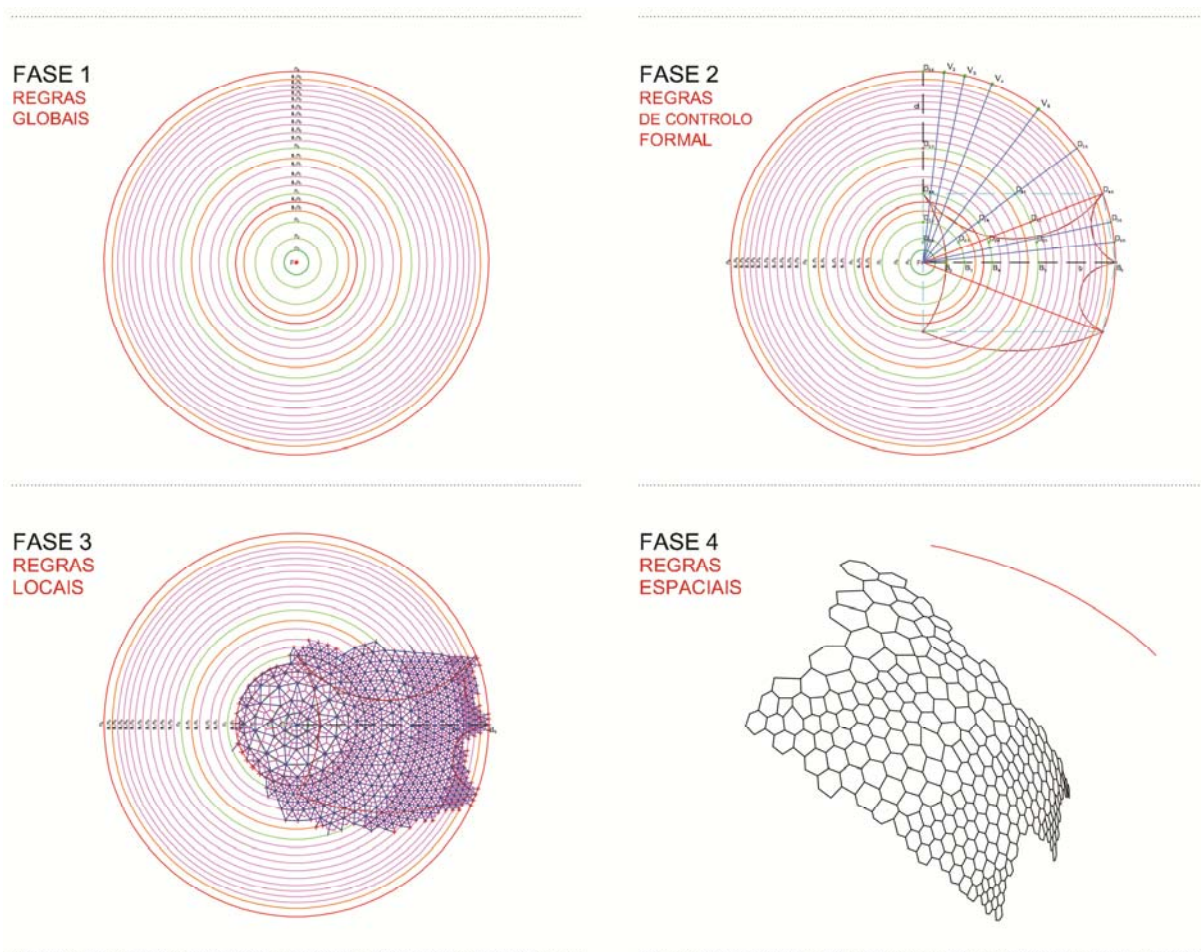


Fig. 11 – Fases de geração do modelo.

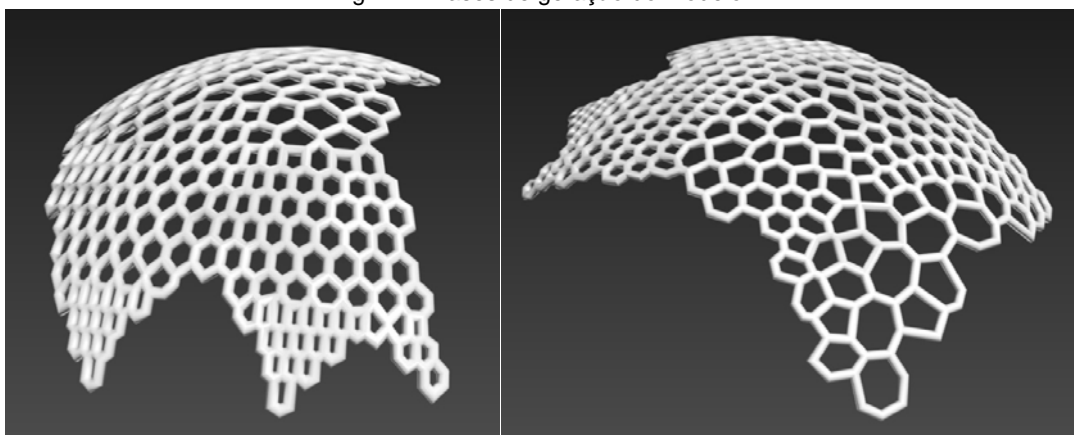


Fig. 12 - Visualização virtual do modelo. Perspetivas.

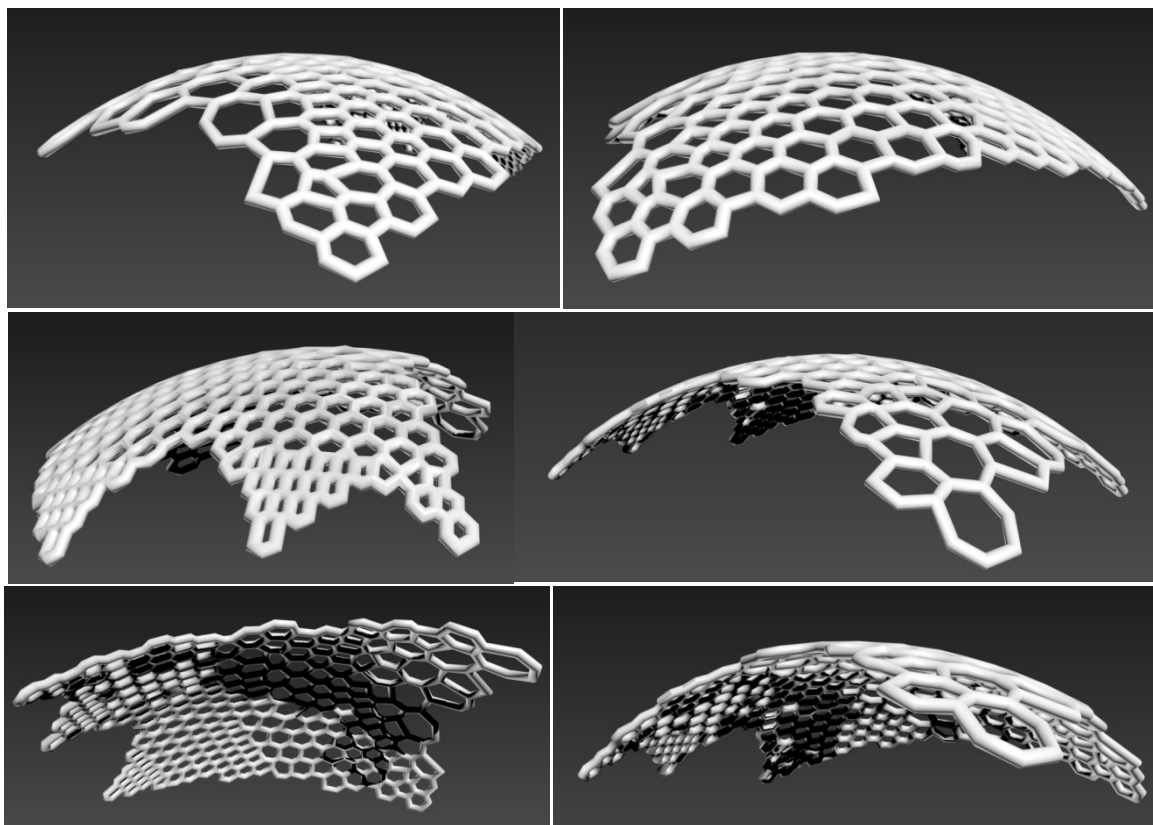


Fig. 13 - Visualização virtual do modelo. Perspetivas.

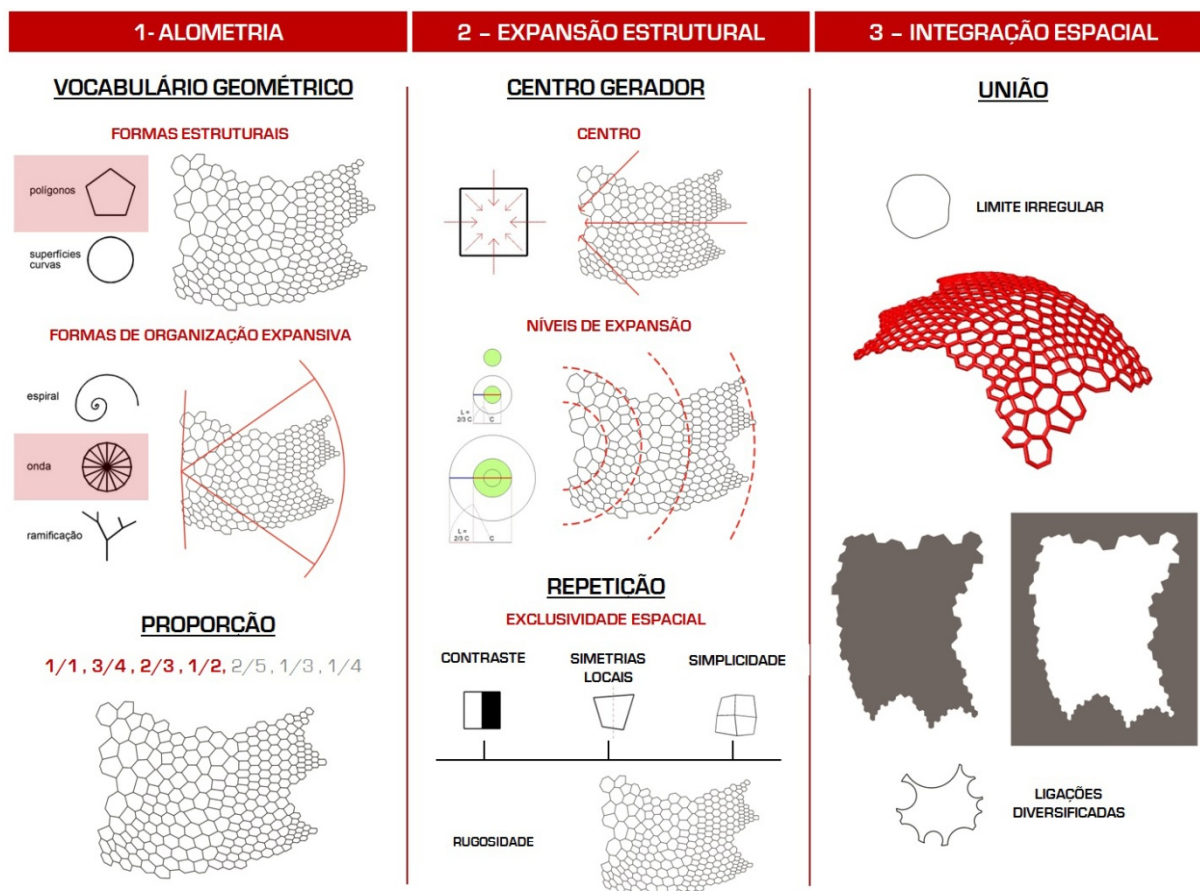


Fig. 14 – Esquema de validação do modelo.

2 Transposição das malhas bidimensionais para a superfície de um toro

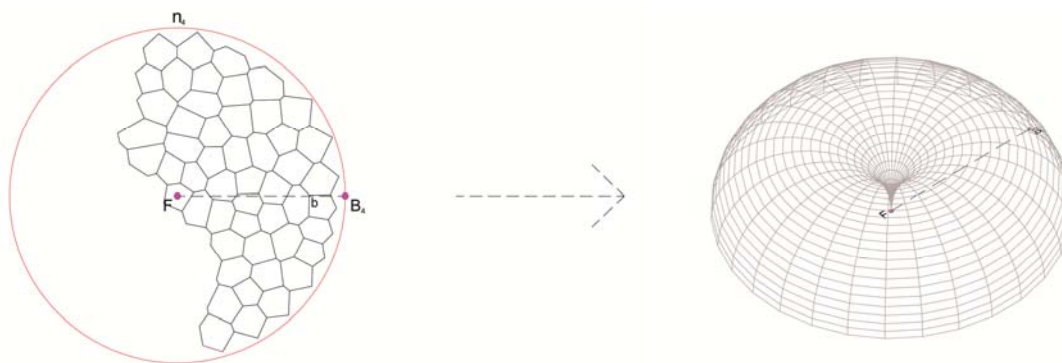
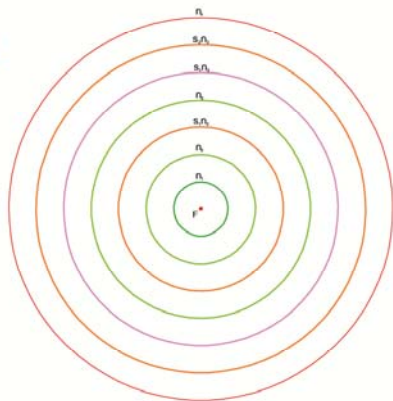


Fig. 15 – Exemplo de uma superfície referencial do toro.

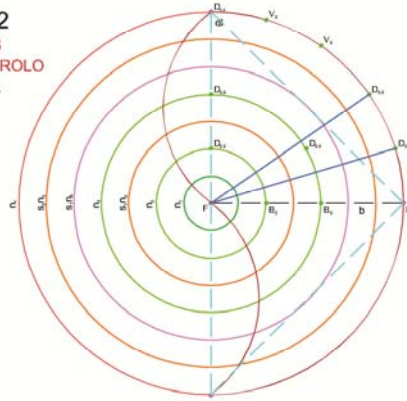
Exemplo 1

O modelo contém uma base estrutural com quatro níveis de expansão, onde o intervalo de expansão $[n_1, n_2]$ não contém nenhum subnível de expansão, o intervalo de expansão $[n_2, n_3]$ contém um subnível de expansão ($s_1 n_2$) e o intervalo de expansão $[n_3, n_4]$ contém dois subníveis de expansão ($s_1 n_3$ e $s_2 n_3$) (consultar anexo 2 – fase 1). O modelo delineia-se sobre uma base estrutural com um ângulo de expansão de 90° (consultar anexo 2 – fase 2). A transposição da composição geométrica gerada sobre a base estrutural é transferida para a superfície do toro com uma amplitude de 180° (consultar anexo 2 – fase 4 – ponto 4.4).

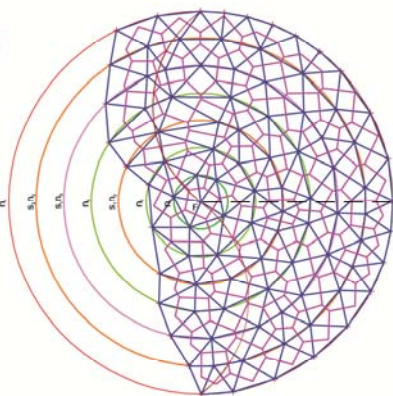
FASE 1 REGRAS GLOBAIS



FASE 2 REGRAS DE CONTROLO FORMAL



FASE 3 REGRAS LOCAIS



FASE 4 REGRAS ESPACIAIS

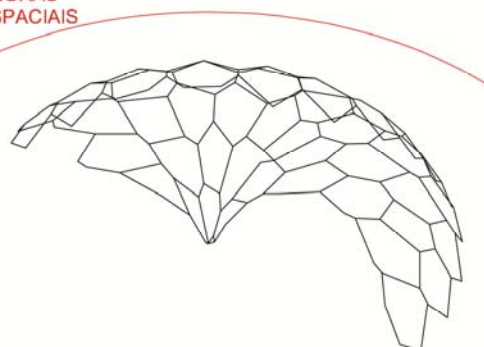


Fig. 16 – Fases de geração do modelo.

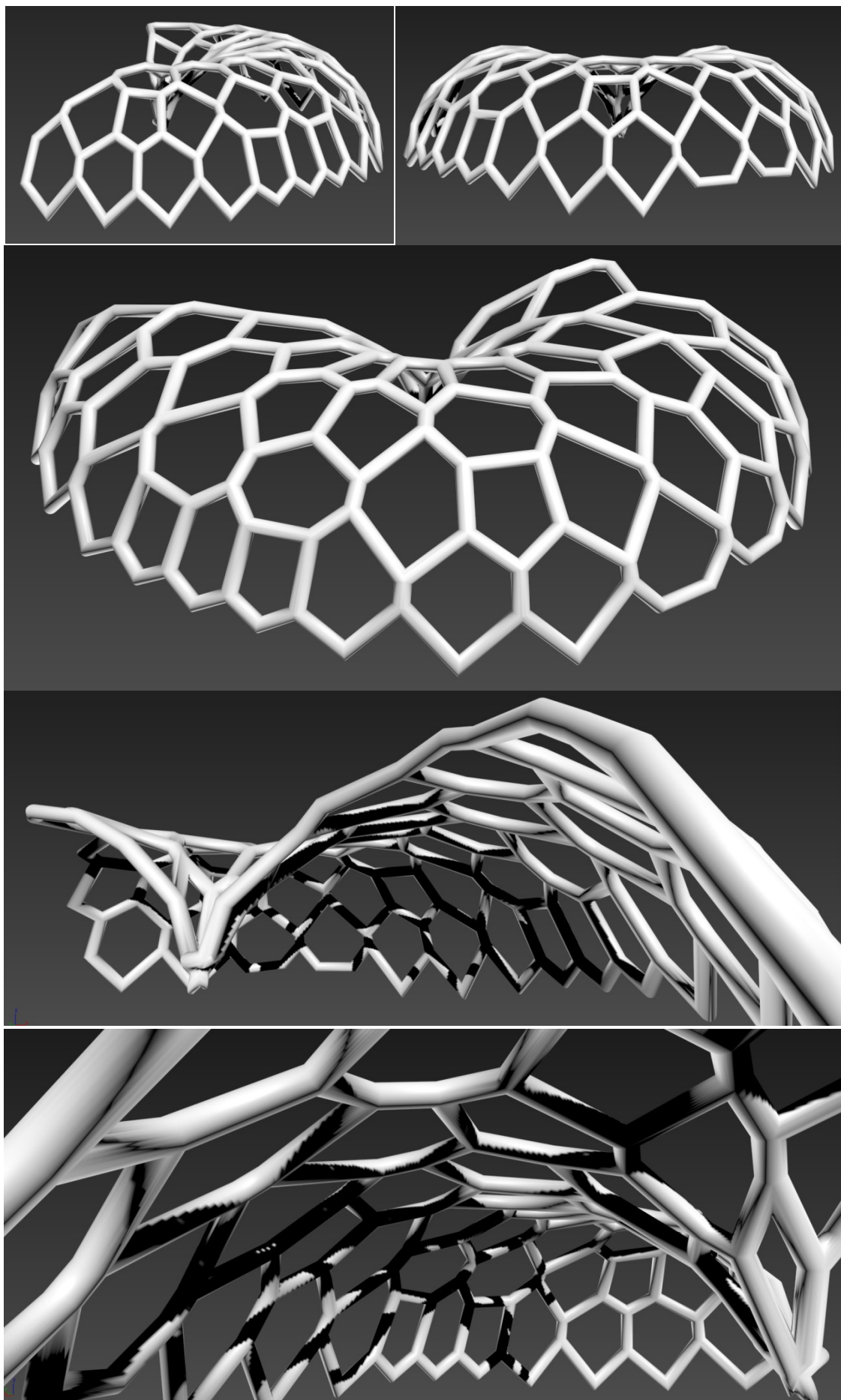


Fig. 17 - Visualização virtual do modelo. Perspectivas.

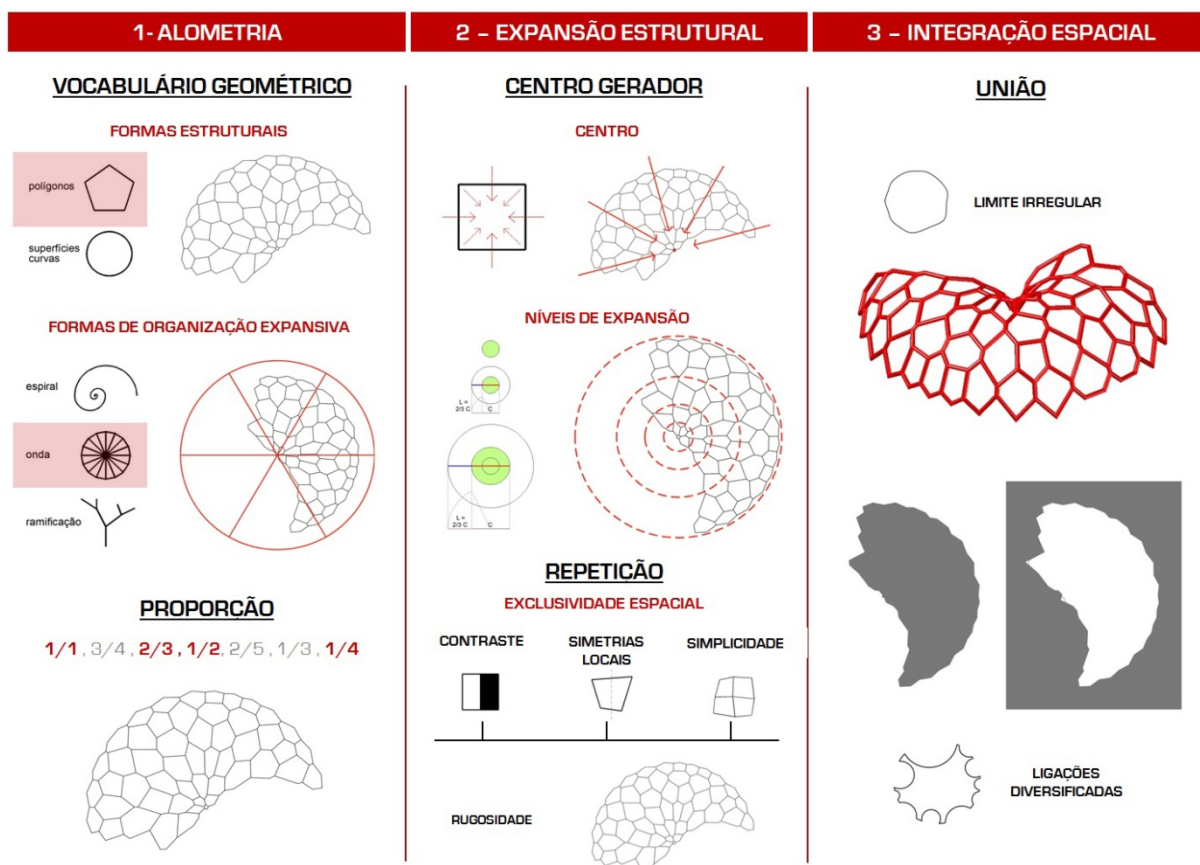
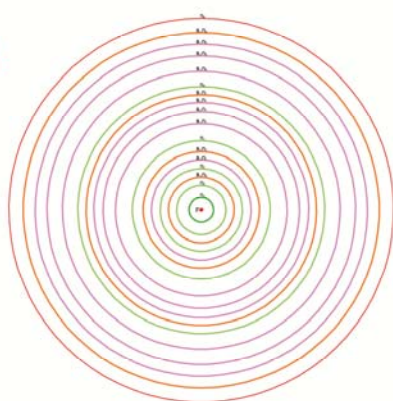


Fig. 18 – Esquema de validação do modelo.

_ Exemplo 2

O modelo contém uma base estrutural com seis níveis de expansão, onde o intervalo de expansão $[n_1, n_2]$ não contém nenhum subnível de expansão, o intervalo de expansão $[n_2, n_3]$ tem um subnível de expansão (s_1n_2), o intervalo de expansão $[n_3, n_4]$ contém dois subníveis de expansão (s_1n_3 e s_2n_3), o intervalo de expansão $[n_4, n_5]$ contém quatro subníveis de expansão (s_1n_4 , s_2n_4 , s_3n_4 , s_4n_4) e o intervalo de expansão $[n_5, n_6]$ contém cinco subníveis de expansão (s_1n_5 , s_2n_5 , s_3n_5 e s_4n_5) (consultar anexo 2 – fase 1). O modelo delinea-se sobre uma base estrutural com um ângulo de expansão de 60° (consultar anexo 2 – fase 2). A transposição da composição geométrica gerada sobre a base estrutural é transferida para a superfície do toro com uma amplitude de 120° (consultar anexo 2 – fase 4 – ponto 4.4).

FASE 1 REGRAS GLOBAIS



FASE 2 REGRAS DE CONTROLO FORMAL

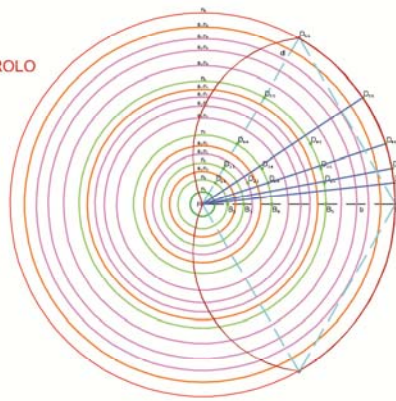


Fig. 19 – Fases de geração do modelo _ fase 1 e 2.

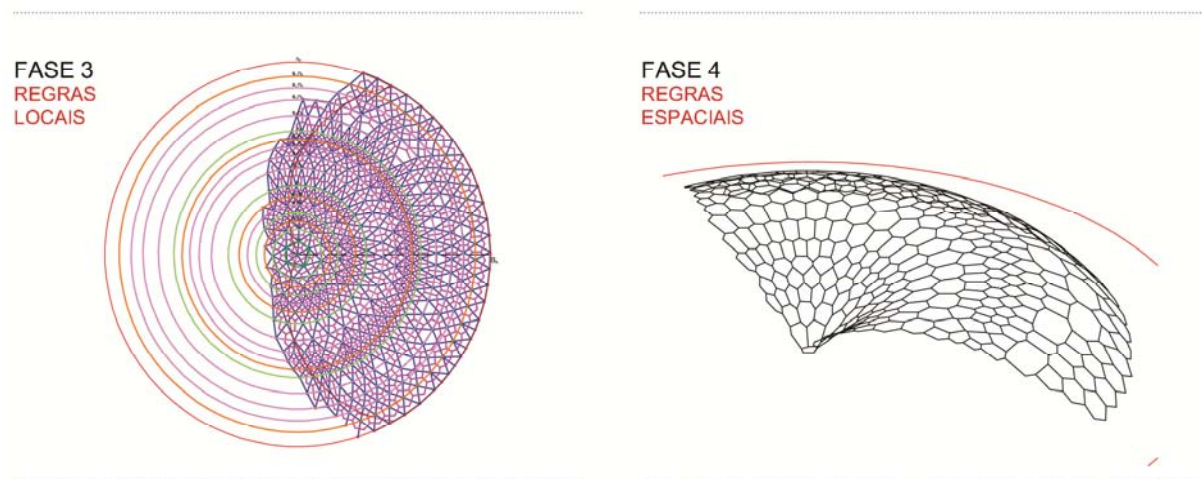


Fig. 20 – Fases de geração do modelo _ fase 3 e 4.

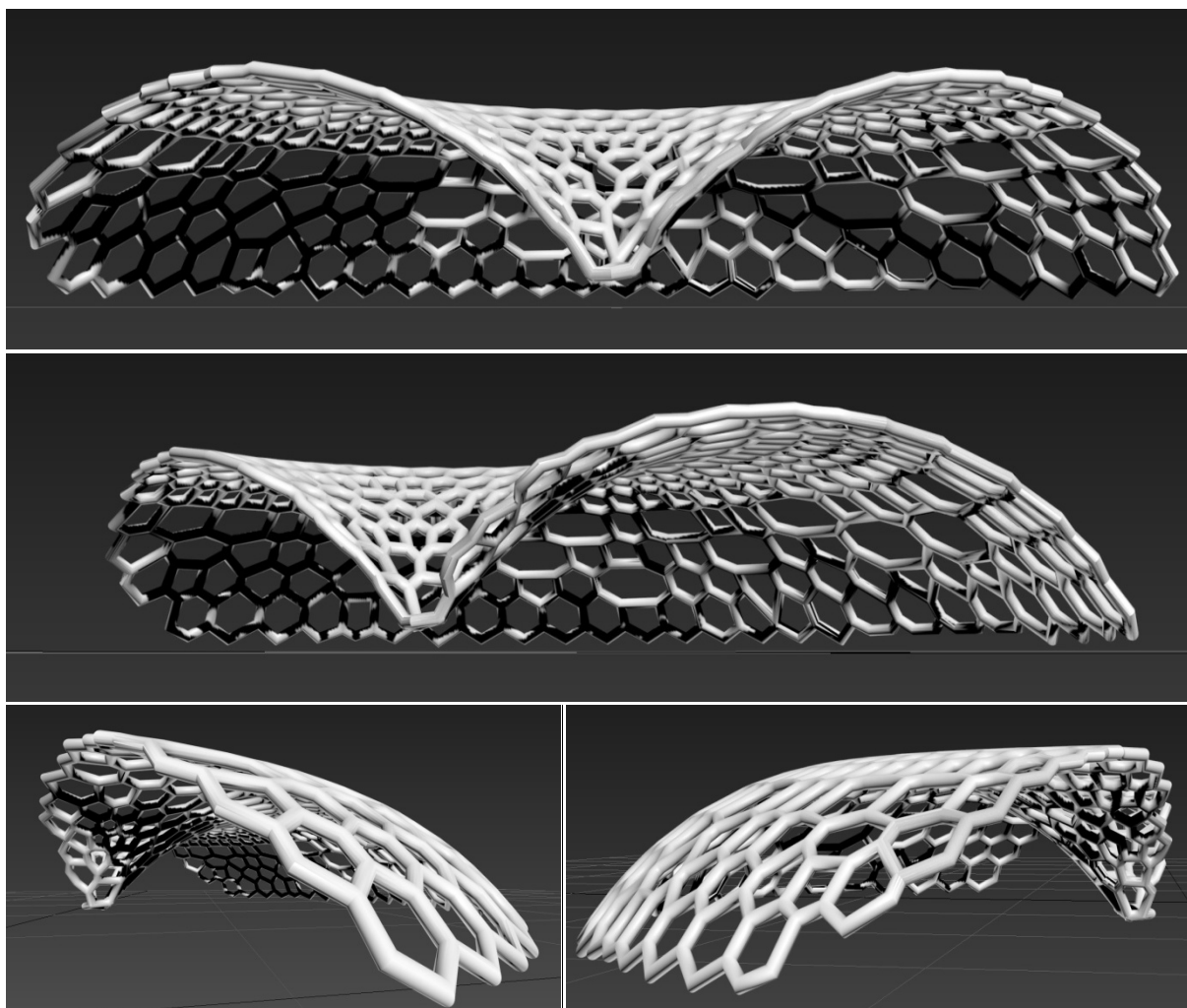


Fig. 21 – Visualização virtual do modelo. Perspetivas exteriores.

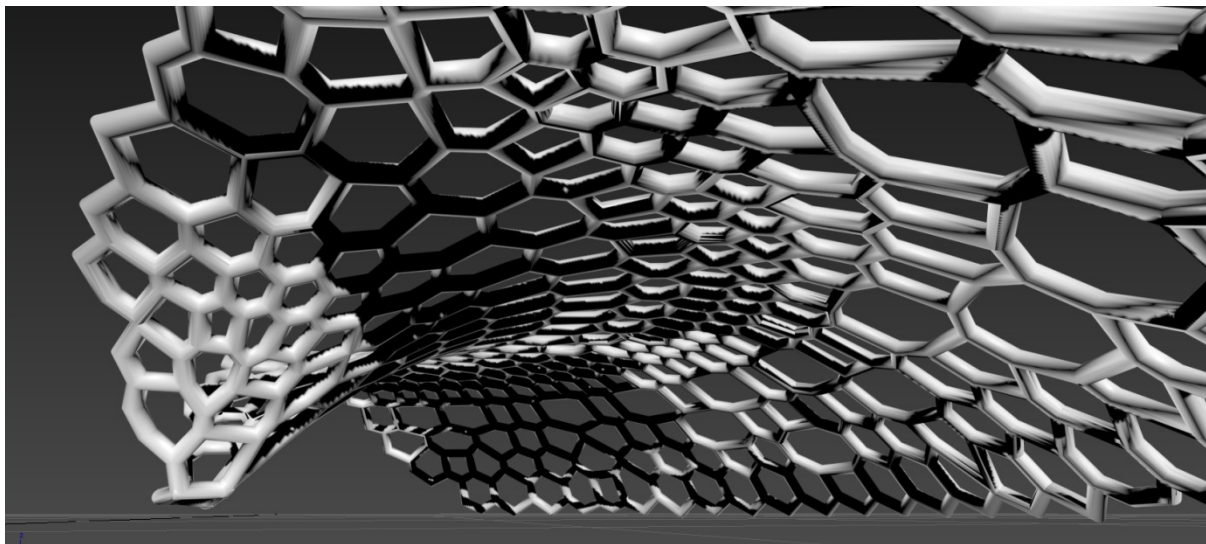


Fig. 22 – Visualização virtual do modelo. Perspectiva interior.

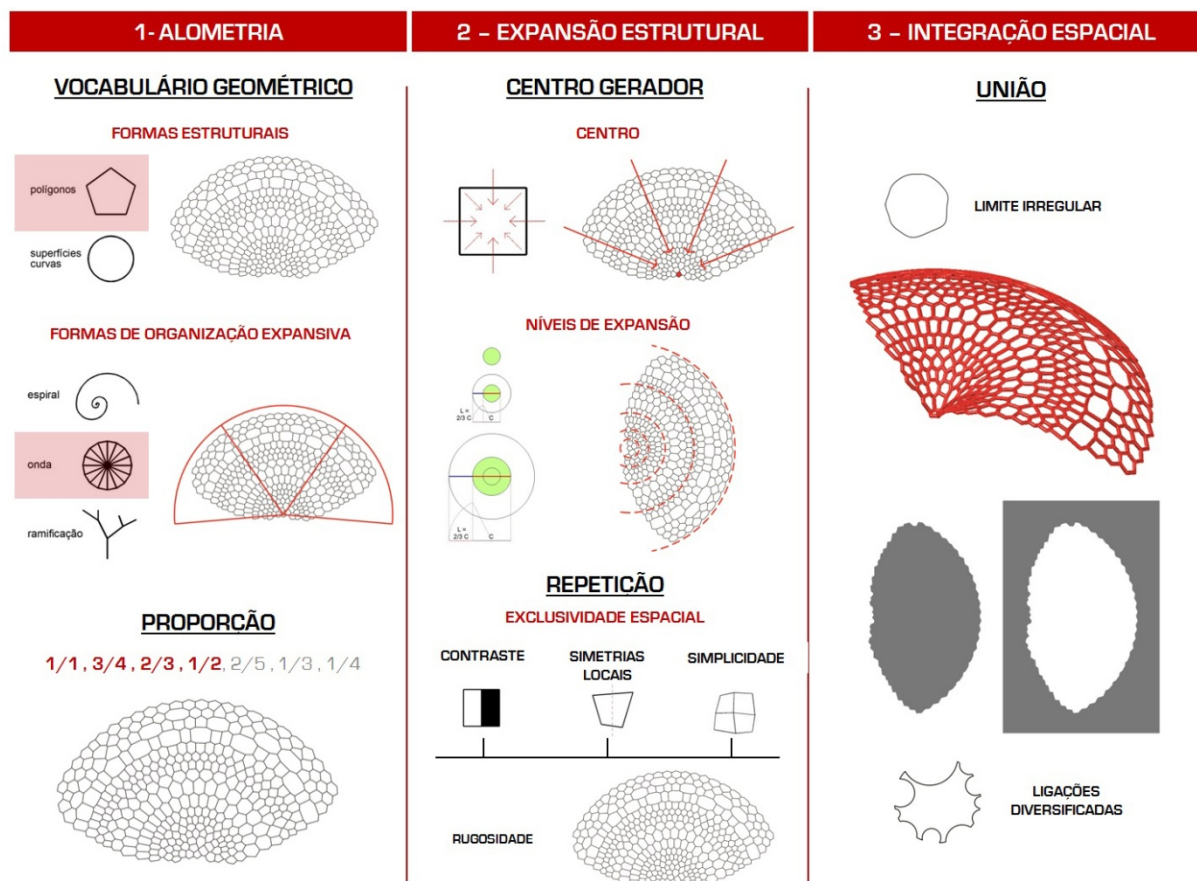


Fig. 23 – Esquema de validação do modelo.

ANEXO 4

“ANÁLISE A ESTRUTURAS ARQUITETÓNICAS DE INSPIRAÇÃO BIOLÓGICA MEDIANTE OS REQUISITOS REFERENCIAIS DA BIO ARQUITETURA”

Este anexo é um complemento ao ponto 4.4.2 – Contributos no campo de conceção biológico.

É exposta uma análise a diferentes linhas de conceção arquitetónica de intuito biológico, face aos requisitos geométricos e de organização estrutural de uma estrutura biológica. O objetivo é demonstrar o modo como a implementação de qualidades geométricas de origem biológica ao nível dos elementos estruturais, influencia a emergência desses requisitos nas estruturas humanas de carácter arquitetónico.

ÍNDICE

ANÁLISE A ESTRUTURAS ARQUITETÓNICAS DE INSPIRAÇÃO BIOLÓGICA MEDIANTE OS REQUISITOS REFERENCIAIS DA BIO-ARQUITETURA.

Página

1 – Estruturas cujos elementos estruturais não refletem padrões geométricos das estruturas vivas.....	5
2 - Estruturas cujos elementos estruturais refletem o princípio de compactação estrutural das estruturas vivas.....	8
3 - Estruturas cujos elementos estruturais revelam o uso do vocabulário geométricos das estruturas vivas (hexágono).....	11
4 - Estruturas cujos elementos estruturais detêm uma configuração geométrica irregular.....	12

ÍNDICE DE FIGURAS

MODELOS GERADOS PELA FERRAMENTA DE DESENHO	Página
Figura 1 - Distintas abordagens arquitetônicas referenciadas em qualidades biológicas.....	6
Figura 2 - Estruturas de fundamento biológico apenas com a implementação de qualidades materiais e estruturais das mesmas.....	6
Figura 3 - Resumo dos requisitos alcançados (verde) e não alcançados (vermelho).....	8
Figura 4 - Estruturas arquitetônicas refletindo o princípio de compactação estrutural das estruturas vivas.....	8
Figura 5 - Resumo dos requisitos alcançados (verde) e não alcançados (vermelho).....	10
Figura 6 - Composição morfológica das estruturas mediante a inclusão de formas hexagonais....	11
Figura 7 - Resumo dos requisitos alcançados (verde) e não alcançados (vermelho).....	12
Figura 8 - Exemplos de estruturas geradas por elementos estruturais semelhantes.....	13
Figura 9 - Resumo dos requisitos alcançados (verde) e não alcançados (vermelho).....	14

ANÁLISE A ESTRUTURAS ARQUITETÓNICAS DE INSPIRAÇÃO BIOLÓGICA MEDIANTE OS REQUISITOS REFERENCIAIS DA BIO-ARQUITETURA

Mohamad Pourjafar (2011) considera que a conotação biológica em arquitetura, não deve estar referenciada em similaridades formais entre organismos e edifícios, mas sim, nas regras “ocultas” da sua essência geométrica. Portanto, para avaliar a intencionalidade biológica de uma estrutura humana de caráter arquitetônico, em termos de essência geométrica e formal, o autor requer que as estruturas evidenciem um conjunto de requisitos em três distintas áreas: material, geométrica e comportamento estrutural.

– Requisitos materiais:

1 - **Seleção de materiais:** As estruturas vivas alcançam a melhor forma estrutural com a menor quantidade de materiais.

2 – **Reutilização:** Na natureza nada desaparece, apenas muda de forma. Portanto, os elementos em uso numa estrutura terão que ser fonte material de outros modelos.

– Requisitos geométricos:

1 - **Escolha dos elementos geométricos:** Uso de formas de derivação triangular. Predominância pela forma hexagonal.

2 - **Hierarquia:** A organização hierárquica dos elementos por variação proporcional permite a transferência de forças de modo progressivo ao longo da composição.

3 - **contiguidade dos elementos:** Os elementos são complementares. A sua dependência requer ordenação por compactação.

4 - **Unidade e solidez das partes:** elementos individuais geram unidades coesas.

5 - **Uso de estruturas combinadas:** uso de diferentes densidades estruturais numa mesma composição.

6 - **Eixos orientadores:** as estruturas detêm dois graus de simetria. Um ao nível da forma geral e outro ao nível dos elementos estruturais.

– Requisitos de organização estrutural:

1 - **Configuração estrutural resistente a forças de deformação:** As estruturas recorrem às formas curvas (concavas e convexas) por estas serem as que mais resistência oferece à deformação.

2 - **Multifuncionalidade:** os elementos denotam mais que uma função.

3 - **Conexão interna dos elementos:** A interconexão das partes requer a disposição dos elementos em continuidade.

4 - **Capacidade evolutiva dos elementos:** As propriedades individuais dos elementos tornam-se mais fortes quando dispostas em conjunto num mesmo sistema.

5 - **Variação de escalas:** Utilização das mesmas ordens de grandeza em diferentes escalas.

6 - **Capacidade de crescimento:** as formas alteram-se por expansão, mediante a adição de elementos estruturais.

7 - **Essência estrutural em camadas:** As formas são construídas por camadas dispostas em continuidade em favor de um centro.

8 - Preservação da identidade das partes: A produção formal deve preservar as mesmas regras de geração ao longo da composição, de modo a preservar a transferência das suas qualidades.

Para se perceber a importância que a adição de qualidades geométricas das estruturas vivas detêm no despontar de tais requisitos, propõe-se uma análise a distintas abordagens arquitetônicas de intuito ecológico. São estas:

- estruturas cujos elementos estruturais não refletem padrões geométricos das estruturas vivas (A) (Fig. 1);
- estruturas cujos elementos estruturais refletem o princípio de compactação estrutural das estruturas vivas (B) (Fig. 1);
- estruturas cujos elementos estruturais revelam o vocabulário geométrico das estruturas vivas (C) (Fig. 1);
- estruturas cujos elementos estruturais detêm uma configuração geométrica não exata (D) (Fig. 1).

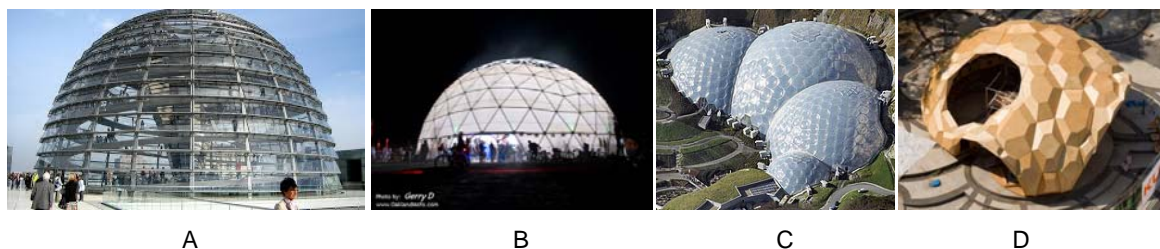


Fig. 1 – Distintas abordagens arquitetônicas referenciadas em qualidades biológicas.

1 – Estruturas cujos elementos estruturais não refletem padrões geométricos das estruturas vivas.

Estas estruturas focam a sua intencionalidade biológica, preferencialmente em termos de otimização estrutural e material. Implementam-se construtivamente pelo uso de formas curvas (maior resistência à deformação), materiais recicláveis e menor diversidade material. A implementação de características geométricas de referência biológica nos elementos estruturais é inexistente (fig. 2).



Water and wind cafe – Vo trong Nghia (esq.). Concha ecológica – David South (centro).
Cúpula do edifício Reichstag – Norman Foster (dir.).

Fig. 2 – Estruturas de fundamento biológico apenas com a implementação de qualidades materiais e estruturais das mesmas.

_ Análise

- Requisitos materiais:

- 1 – Seleção de materiais: As estruturas recorrem a um número reduzido de materiais
- 2 – Reutilização: Este tipo de estruturas é na sua larga maioria, composta por materiais recicláveis, que podem ser futuramente utilizados na conceção de outras estruturas semelhantes.

- Requisitos geométricos:

- 1 – Elementos geométricos: O vocabulário geométrico dos elementos estruturais é distinto do utilizado pelas estruturas vivas (predominância pela forma quadrangular em vez da hexagonal).
- 2 – Hierarquia: Não se pode negar que a composição aúfere de transferência de forças da periferia para o centro. Contudo, essa transferência não é feita progressivamente pelas formas estruturais, mas sim, pelos elementos lineares que delimitam o seu perímetro. Isto significa, que estas formas não detêm preponderância hierárquica na composição, pois são resultado dos elementos geométricos que as delimitam. Assim sendo, a qualidade hierárquica de intuito biológico, não desponta neste tipo de composições.
- 3 – Contiguidade dos elementos: Os elementos estruturais não detêm exclusividade espacial. Resultam da intersecção de elementos lineares, mediante uma distribuição exata. Isto significa que geram elementos de igual configuração e proporção nas composições, podendo assim ser dispostos em diversos pontos da composição. Portanto, a ordenação da configuração geométrica, não está totalmente dependente dos elementos geométricos que a compõem.
- 4 – Unidade e solidez das partes: A vincada direcionalidade dos elementos que geram as formas quadrangulares, não lhes confere dependência estrutural pela unicidade dos seus limites. Os elementos são arrumados na composição, mas a partilha de direcionalidade torna-as quebradiças, o que lhes confere uma fraca coesão.
- 5 – Uso de estruturas combinadas: A malha geométrica deste tipo de estruturas reflete uma composição dominada pela exatidão. Portanto, não denotam variações de combinações estruturais.
- 6 – Eixos orientadores: As estruturas geométricas detêm dois graus de simetria. Os elementos que compõem a composição detêm simetria, ou bilateral ou radial, dependendo do perfil dos elementos. Ao nível da forma geral, os exemplos referenciados acima, denotam simetria radial. No entanto, outros casos podem existir em que a simetria vigente pode ser a bilateral.

- Requisitos de organização estrutural:

- 1 – Configuração estrutural contra forças : A configuração geométrica da forma recorre a superfícies curvas.
- 2 – Organismo multifuncional: Os elementos estruturais não denotam multifuncionalidade. A sua estrutura não é composta por módulos, mas sim, por elementos em intersecção. Portanto, os elementos unidireccionais denotam uma função estrutural e os elementos que preenchem o espaço delimitado pelos anteriores, denotam uma função de revestimento.
- 3 – Conexão interna dos elementos: A partilha de perímetros unidireccionais pelas formas quadrangulares para além dos elementos em adjacência torna o real limite das formas

indefinido. Pois se esses elementos unidirecionais, as composições ganham novas formas internas, resultando da adição do espaço das formas que partilhavam esse elemento. Portanto, o espaço nunca fica perdido, o que denota que os mesmos são partes de outros. No entanto, esta transformação interna de formas demonstra que a composição não é um resultado direto das mesmas, visto que a transformação não tem implicações na configuração da composição. Os elementos unidirecionais podem ser retirados, que o perfil geométrico da composição mantém-se, o que torna a conexão interna dos elementos muito débil.

4 – Capacidade evolutiva dos elementos: Os elementos estruturais não denotam capacidade evolutiva. Estes não se agregam entre si. São colocados de um modo disperso e sem continuidade, o que não lhes permite auferir das propriedades individuais dos outros elementos.

5 – Variação de escalas : Sendo os elementos estruturais resultantes de intersecções, não é possível contabilizar a verdadeira grandeza dos elementos que estão por detrás dos mesmos. Portanto, não é possível validar a utilização das mesmas ordens de grandeza em diferentes escalas na estrutura.

6 – Capacidade de crescimento: Crescimento implica que se possa continuar a expandir a composição pela adição de novos elementos e não pela correção do dimensionamento dos existentes. Tal facto, não acontece neste tipo de composição, isto porque a expansão requer um acréscimo dimensional dos elementos lineares não circulares, que geram as formas quadrangulares. Portanto, este tipo de configuração estrutural não denota capacidade de crescimento.

7 – Essência estrutural em camadas: A indefinição dos limites das formas estruturais, devido à sua geração por intersecção, não permite estabelecer uma sequenciação de geração formal, portanto, não detêm uma essência estrutural por camadas.

8 – Preservação da identidade das partes: As partes não denotam a mesma identidade. Os elementos detêm diferente materialidade e não coexistem em continuidade, mas sim, por proximidade.

	REQUISITOS ESTRUTURAIS	REQUISITOS GEOMÉTRICOS	REQUISITOS DE ORGANIZAÇÃO ESTRUTURAL
	1, 2	1,2,3,4,5,6	1,2,3,4,5,6,7,8

Fig. 3 – Resumo dos requisitos alcançados (verde) e não alcançados (vermelho).

2 – Estruturas cujos elementos estruturais refletem o princípio de compactação estrutural das estruturas vivas.

Face ao tipo de abordagem de intuito biológico anterior, esta abordagem caracteriza-se pela introdução de uma qualidade geométrica vinculada à organização espacial dos elementos estruturais, a compactação mediante princípios de triangulação (fig. 4).



Festival Burning Man 2007 (esq.). Geoesfera – Buckminster Fuller (centro). Estação Polo sul Amundsen-Scott (dir.).

Fig. 4 – Estruturas arquitetônicas refletindo o princípio de compactação estrutural das estruturas vivas, mediante uma métrica exata.

_ Análise

- Requisitos materiais:

1 – Seleção de materiais: As estruturas recorrem a um número reduzido de materiais.

2 – Reutilização: Este tipo de estruturas é executado com materiais recicláveis, que podem ser posteriormente utilizados para a construção de estruturas similares.

- Requisitos geométricos:

1 – Elementos geométricos: O princípio de compactação estrutural biológico caracteriza-se por gerar formas de derivação triangular, a partir de uma malha referencial triangular. Nas estruturas vivas, essa malha auxiliar é a base de definição de outras formas e não o resultado. Neste caso, as estruturas incutiram a malha referencial como a malha estrutural. Portanto, não proporciona à estrutura a emergência de formas de derivação triangular.

2 – Hierarquia: As composições geométricas não possuem uma organização hierárquica. Estas são constituídas maioritariamente por elementos estruturais geometricamente iguais. Esta particularidade torna as composições estáticas, não despontando nenhum campo de forças.

3 – Contiguidade dos elementos: As composições demonstram ser organizadas mediante elementos estruturais triangulares. No entanto, essa malha triangular resulta da intersecção de outros elementos lineares, o que torna difícil de determinar com exatidão, qual o elemento que estão realmente a delimitar. Este facto retira poder de compactação às composições geométricas, pois a exclusão dos elementos lineares delimitadores das formas, podem gerar uma constante transformação dos elementos geométricos que a constituem. Portanto, as formas podem não estar a ser geradas por compactação, mas sim por sobreposição, não favorecendo a emergência de contiguidade entre os elementos.

4 – Unidade e solidez das partes: Os elementos estruturais partilham perímetros unidireccionais, cuja exclusão pode afetar a configuração geométrica de vários elementos, como pode levar à sua reconfiguração. Portanto, é uma composição interna que denota pouca estabilidade, pelo facto de não haver independência geométrica dos seus elementos. As unidades que as geram não são claras, o que reduz bastante a solidez das partes.

5 – Uso de estruturas combinadas: A repetição dos mesmos elementos estruturais não desponta nas composições diferentes densidades estruturais. Portanto, estas não denotam o uso de estruturas combinadas.

6 – Eixos orientadores: As estruturas geométricas detêm dois graus de simetria, um ao nível dos elementos estruturais, evidenciando estes deter uma simetria bilateral e outro ao nível da forma geral, evidenciando uma simetria radial.

- Requisitos de organização estrutural:

1 – Configuração estrutural contra forças : A configuração geométrica da forma recorre a superfícies curvas.

2 – Organismo multifuncional: A composição geométrica não detêm multifuncionalidade nos seus elementos. Por estes serem gerados por intersecção, os elementos unidireccionais detêm uma função estrutural, enquanto que o espaço gerado pela intersecção é composta por elementos que detêm uma função de revestimento.

3 – Conexão interna dos elementos: A conexão interna é muito superficial, pois os elementos não detêm unicidade geométrica. O posicionamento dos mesmos pode ser mutável, já que existem outras idênticas na composição.

4 – Capacidade evolutiva dos elementos: A interligação dos diversos elementos estruturais potencia a resistência dos elementos que compõem a forma.

5 – Variação de escalas : A repetição sistemática dos mesmos elementos geométricos, dá origem a uma composição homogénea e estática que não reflete a implementação de uma proporção em diferentes escalas.

6 – Capacidade de crescimento: A composição não se expande por adição de elementos triangulares, mas sim, pela expansão dos elementos que os geram. Portanto, a composição não possui capacidade de crescimento, porque não se expande por módulos, mas sim, por uma alteração da dimensão dos perímetros que os delimitam.

7 – Essência estrutural em camadas: Numa primeira interpretação, as composições geométricas parecem denotar uma construção em camadas, sobretudo se se evidenciar a segmentação horizontal dos elementos. No entanto, as diversas unidirecionalidades perimetrias que os elementos geométricos partilham com outros, pode fornecer a leitura que as camadas também podem ser realizadas na vertical. Portanto, estas composições geram uma intermitência de leitura da origem das suas camadas. Não sendo clara a estratificação destas em favor de um centro, conclui-se que as composições geométricas não detêm uma essência estrutural em camadas.

8 – Preservação da identidade das partes: A composição é gerada mediante o uso das mesmas regras ao longo da composição, mantendo assim, a identidade das partes.


	REQUISITOS ESTRUTURAIS	REQUISITOS GEOMÉTRICOS	REQUISITOS DE ORGANIZAÇÃO ESTRUTURAL
	1, 2	1,2,3,4,5,6	1,2,3,4,5,6,7,8

Fig. 5 – Resumo dos requisitos alcançados (verde) e não alcançados (vermelho).

3 – Estruturas cujos elementos estruturais revelam o uso do vocabulário geométricos das estruturas vivas (hexágono).

Este tipo de abordagem de intuito biológico, caracteriza-se pela introdução de formas hexagonais. O princípio de compactação dos elementos das estruturas vivas, passa para um plano oculto, apresentando-se agora como uma base secundária referencial de geração de elementos estruturais (fig. 6).



Projeto Eden – Nicholas Grimshaw (esq.). Cúpula geodésica no festival Roskilde 2012 – Kristoffer Tejlgaard e Benny Jepsen (dir.).

Fig. 6 – Composição morfológica das estruturas mediante a inclusão de formas hexagonais.

_ Análise

- Requisitos materiais:

1 – Seleção de materiais: As estruturas são realizadas com um número reduzido de materiais.

2 – Reutilização: Este tipo de estruturas é executado com materiais recicláveis que podem ser posteriormente utilizados para a construção de estruturas similares.

- Requisitos geométricos:

1 – Elementos geométricos: São usadas formas de derivação triangular (hexágonos).

2 – Hierarquia: A predominância de formas estruturais iguais torna a composição geométrica estática. Não desponta qualquer tipo de organização hierárquica, o que trava a emergência de forças.

3 – Contiguidade dos elementos: Os elementos estruturais não detêm dependência estrutural. A idêntica configuração geométrica dos elementos, permite um multiposicionamento na composição, facto este que invalida a sua existência na composição por unicidade geométrica.

4 – Unidade e solidez das partes: As formas de derivação triangular, têm a particularidade de existirem perfeitamente encaixadas em continuidade. Não evidenciam qualquer tipo de perturbação, o que lhes proporciona solidez estrutural.

5 – Uso de estruturas combinadas: Uma vez mais, devido à predominância de elementos estruturais iguais, não despontam variações geométricas na malha estrutural da composição.

6 – Eixos orientadores: As estruturas detêm dois níveis de simetria, um ao nível da forma geral, evidenciando uma simetria radial, e outro ao nível dos elementos estruturais, podendo estes revelar simetria bilateral ou radial.

- Requisitos de organização estrutural:

1 – Configuração estrutural contra forças: As estruturas são referenciadas em superfícies curvas.

2 – Organismo multifuncional: Os elementos estruturais denotam multifuncionalidade. Os seus módulos desempenham funções estruturais e de envolvente construtiva.

3 – Conexão interna dos elementos: Os elementos detêm interconexão interna devido à sua distribuição em continuidade.

4 – Capacidade evolutiva dos elementos: Os elementos estruturais são modulares e dispõem-se em continuidade num mesmo sistema. Este facto permite que as propriedades individuais dos elementos sejam partilhadas, contribuindo em conjunto, para a potenciação de qualidades que não possuem quando isoladas.

5 – Variação de escalas: A repetição contínua da mesma ordem de grandeza nos elementos estruturais anula o uso de variações de escala nos elementos estruturais.

6 – Capacidade de crescimento: Neste tipo de composição geométrica, é recorrente o seccionamento dos elementos estruturais limítrofes mediante num perfil linear, de modo a efetuar um estável contacto com o solo. No entanto, esse seccionamento interrompe a possibilidade de repetição progressiva dos mesmos elementos, pois a alteração do perímetro de encaixe, não permite a ligação dos novos elementos em continuidade com os existentes na periferia da composição.

7 – Essência estrutural em camadas: A composição geométrica, não denota claramente uma organização geométrica com o intuito de evidenciar uma particular zona da composição. Há uma noção do seu posicionamento mais pelo tipo de forma da composição geométrica (semi-esfera) do que pela informação gerada pelos seus elementos estruturais. Este facto está diretamente relacionado com a inexistência de uma gradação progressiva da ordem de grandeza dos elementos geométricos na composição, o que não favorece uma organização estrutural por camadas.

8 – Preservação da identidade das partes: A composição modular, permite a recursividade da identidade dos elementos por todas a estrutura, preservando uma coerência morfológica em toda a composição geométrica.

	REQUISITOS ESTRUTURAIS	REQUISITOS GEOMÉTRICOS	REQUISITOS DE ORGANIZAÇÃO ESTRUTURAL
	1	1,2,3,4,5,6	1,2,3,4,5,6,7,8

Fig. 7 – Resumo dos requisitos alcançados (verde) e não alcançados (vermelho).

4 – Estruturas cujos elementos estruturais detêm uma configuração geométrica irregular.

Esta topologia de intuito biológico introduz uma das mais claras qualidades geométricas das estruturas vivas nos elementos estruturais das composições, a irregularidade. O principal intuito é a negação da cópia e a implementação da similaridade (fig. 8).



Shellstar – Matsys (esq.). Pavilhão de pesquisa ICD ITKE 2011 - Achim Menges (centro);
Pavilhão de pesquisa ICD ITKE 2013-2014 - Achim Menges (dir.).

Fig. 8 – Exemplos de estruturas geradas por elementos estruturais semelhantes.

_ Análise

- Requisitos materiais:

1 – Seleção de materiais: As estruturas são compostas por um número reduzido de materiais.

2 – Reutilização: As estruturas são executadas com materiais recicláveis, que podem ser posteriormente utilizados para a construção de estruturas similares.

- Requisitos geométricos:

1 – Elementos geométricos: As composições geométricas são compostas por formas de derivação triangular, com predominância para as formas hexagonais e pentagonais.

2 – Hierarquia: Existem transferências de forças, mas estas não percorrem progressivamente a totalidade da composição geométrica. As variações proporcionais sem intencionalidade de evidenciar uma particular zona da composição, geram conflitos de inúmeras forças multidirecionais que se anulam entre si.

3 – Contigüidade dos elementos: Os elementos estruturais coexistem por dependência. As suas configurações denotam encaixe em continuidade, portanto detêm uma ordenação por compactação.

4 – Unidade e solidez das partes: As estruturas são constituídas por elementos estruturais individuais articulados entre si, cuja irregularidade geométrica potencia uma mais forte agregação, o que contribui para uma forte solidez das partes.

5 – Uso de estruturas combinadas: A irregularidade presente nos elementos estruturais confere às formas a emergência de diferentes densidades estruturais na composição, em dependência entre si.

6 – Eixos orientadores: As estruturas denotam dois graus de simetria, um ao nível da forma geral e outra ao nível dos elementos. Consoante os casos, ambas podem evidenciar simetria bilateral ou radial.

- Requisitos de organização estrutural:

1 – Configuração estrutural contra forças: As estruturas são referenciadas em superfícies curvas.

2 – Organismo multifuncional: Os elementos estruturais denotam multifuncionalidade. Os seus módulos desempenham funções estruturais e de envolvente construtiva.

3 – Conexão interna dos elementos: A configuração da composição, depende totalmente dos elementos que a compõe. Tal facto demonstra que os elementos coexistem em dependência, portanto, são dispostos em continuidade e em total conexão.

4 – Capacidade evolutiva dos elementos: Os elementos estruturais agregam-se compactamente numa malha sólida e coesa. A agregação conjunta de elementos que partilham as mesmas qualidades potencia a evolução dessas para patamares mais elevados, tal como sucede, por exemplo, com a coesão estrutural. A coesão da forma individual é sempre potenciada pela coesão gerada pelo conjunto.

5 – Variação de escalas: A irregularidade dos elementos estruturais por semelhança confere-lhes logo variação de escalas. No entanto, a impossibilidade de crescimento retira-lhe a possibilidade de uso recursivo de um conjunto de ordens de grandeza em distintas escalas da composição.

6 – Capacidade de crescimento: Apesar da irregularidade dos elementos estruturais, os limites revelam-se bastante lineares. Este facto revela que muitos dos elementos limítrofes são seccionados de modo responder a uma configuração geométrica idealizada. Tal seccionamento impede a expansão da forma, já que o crescimento pressupõe acréscimo de elementos e não a reestruturação dos existentes para poder prosseguir a sua métrica expansiva

7 – Essência estrutural em camadas: As estruturas não evidenciam uma estruturação em torno de uma zona específica da composição, ou seja, um centro. Os elementos geométricos ou grupos destes competem entre si pelo destaque na composição. Portanto, se não evidenciam em conjunto algo em concreto, não há uma composição por envolvimento e proteção de algo, logo a sua composição não reflete essência estrutural em camadas.

8 – Preservação da identidade das partes: A composição modular, permite a recursividade da identidade dos elementos por todas a estrutura, preservando uma coerência morfológica em toda a composição geométrica.

	REQUISITOS ESTRUTURAIS	REQUISITOS GEOMÉTRICOS	REQUISITOS DE ORGANIZAÇÃO ESTRUTURAL
	1, 2	1,2,3,4,5,6	1,2,3,4,5,6,7,8

Fig. 9 – Resumo dos requisitos alcançados (verde) e não alcançados (vermelho).

ANEXO 5

ARTIGO DO LIVRO eCAADe 2015

***“GEOMETRIC IDENTITY OF LIVING STRUCTURES TRANSLATED TO AN
ARCHITECTURAL DESIGN PROCESS”***

Artigo referente à participação na conferência eCAADe 2015

“Real time – Extending the reach of computation”

Geometric Identity of Living Structures Translated to an Architectural Design Process

Ricardo Gago¹, Luís Romão²

¹Faculty of Architecture, University of Lisbon / CIAUD ²Faculty of Architecture, University of Lisbon

¹umassena@gmail.com ²lromao@fa.ulisboa.pt

Biological life manifests in space through a large diversity of physical structures perfectly bind and identifiable in the environment. This reveals that all share a common generative design process which allows them the same physical identity in all the shapes that generates, The human ecological design process used in architecture is not able yet to reach this design identity neither the spontaneous integration associates to it. Why? Because the geometrical design process used in ecological architecture and living structures are not similar. Thus, this paper proposes, through the identification of some geometrical characteristics from the growth mechanism of living structures, a process of shape generation through shape grammar. With this generation process is possible to generate, only in geometrical terms, a large diversity of architectural models with a common identity, that reveals some geometrical characteristics of spatial integration that living structures share with the surround environment.

Keywords: Ecology, Geometry, Bio-design

INTRODUCTION

This investigation presents initial results from an ongoing research, which aspires to increase the knowledge in the development of an ecological design pattern able to decrease the formal border between human and living structures. This study, approach the ecological design pattern only in terms of geometry, more precisely, the geometric characteristics of the growth mechanisms. Through a design process, this investigation demonstrates how growth process and the geometric characteristics associated to it, are crucial to emerge in living structures a geometric identity with structural optimization and a spontaneous spatial integration. So this research start

to review different ecological design processes (Nery Oxman, Rachel Armstrong, Joachim Mitchell, Achim Menges, Magnus Larsson, Sanfte Strukturen) and interpretations of natural geometry (Maggie Macnab, John Blackwood, Peter Pearce, D'arcy Thompson, Christopher Alexander). With this information is defined a set of geometrical characteristics which are translated to a shape grammar language. Finally, through shape grammar rules is developed a process of shapes generation. The generated shapes allow to reach the follow conclusions: 1) the design method is crucial to generate shapes that can reach some levels of spontaneous integration on the environment and 2) the spontaneous integration can only be reached

when the geometric compositions reveal structural optimization, which in geometry terms means that shapes can be only composed by the geometric elements that they need to exist.

AIMS

This investigation aspires to increase the knowledge on the geometrical complexity level of ecological pattern (Loehle, 2004). The choice of approach ecology by a geometric perspective arises from an idea defended by Alexander. He argued that the quality of the human architectural shape is directly related with its integration capacity in the environment. In his view, today's architecture is very poor, because it is completely separate from the nature design logic. Alexander defends that the most successfully architecture is the one that contain some of the geometrical characteristics of the living structures, i.e. characteristics from the maximum example of shape integration in the environment. To do these analogies, he defines a set of geometrical characteristics of the living structures identity. He concludes that architectural structures do not achieve the same integration ability in the environment like living structures have, because these geometric characteristics are not all present in the geometric composition of the architectural structures. So to "restore" the architectural quality, he proposes that human design process have to change to a similar to the living structures. In order to respond to that challenge, the main goal of this investigation is the development of a design process, only in geometric essence, able to generate architectural structures with the geometrical qualities of living structures identity. To reach that goal, this investigation aims the following points: 1) identify a set of geometrical characteristics of the living structures shape identity, 2) develop a design tool able to generate shapes that reflect simultaneously all these geometric characteristics in the same structure, 3) generate tridimensional models able to be used in human activities.

SIGNIFICANCE

The geometric design process developed arises in the ecological design field as a proposal to generate human structures through a biologic perspective. The reason to focus the ecological design by this field, is to inform that biological structures, which are the maximum ecological reference, are built with a specific kind of geometry that allow their easy identification in the environment, but also allows to achieve all ecological qualities related to optimization and spatial integration known. So if the aim of ecological design is to achieve the ecologic pattern, in our opinion, architecture must share the same geometric identity of living structures. In this investigation, the geometrical characteristics identify in the growth mechanisms of this particular geometry, allow us to develop, only in geometric essence, a design process able to achieve some of the geometrical qualities of spatial integration reveal by living structures and also reveal how living structures optimize the structural elements that use in their shapes. So, these successful achievements can be a reason to inform others research lines in ecologic design, that this kind of geometry can have some particular influence on their optimization goals, which in social terms, can be very relevant in ecologic and economic factors. In the academic terms, this geometrical design process can be introduced as a drawing tool that allows experimenting a different process of space conception. This may enhance our capabilities to create and explore different space solutions for human activities, which is one of the main goals of designers and architects.

BACKGROUND

In the last years have emerged, in the ecological design field, several research lines that develop human structures without copying directly natural shapes, but through the implementation of design processes based in structural characteristics of these shapes. These research lines can be interpreted through two distinct groups: digital morphogenetic (Hensel et al, 2006; Menges, 2012; Oxman, 2010) and living architectures (Armstrong, 2012; Larsson, [1]; Mitchell, [2];

Strukturen, [3]) .The main intention of digital morphogenetic research line is to understand the relations between geometry and material optimization taking into account the materials properties, the climate factors and the structure purpose (figure 1). In the case of the living architecture the main intention is also the material optimization, but through a different perspective, by using living structures itself as constructive materials or using their metabolic qualities to produce materials able to generate the structures (figure 2). All these different approaches shows that material optimization reveal a change of geometry in the physical structures when compared with the ones that resulting through the human design processes used today. This geometry also shows other relevant qualities. The shapes reveal a geometrical identity closer to the one of the living structures and a more ability of integration with the environment. So, if the aim of ecological concept is to achieve the structural qualities of the identity shape on those living structures, then, in our opinion, one aims at unraveling what kind of geometric patterns and form generation process needs to be interpreted so that the human structures start reflecting in their structural compositions, patterns of optimization and spontaneous integration of the living structures.

The natural geometry has been studied through at least three different types of approaches: growth (Alexander, 2001; Thompson, 1992), identity (Macnab, 2011) and minimal inventory / maxium diversity (Blackwood, 2012, Pearce, 1978). Both Blackwood as Pearce, focus their research only in a geometric quality of living structures, the first deepening the symmetry and the second morphological character. All other features that they referenced are complementary to these. The same applies to Thompson, focusing only on allometry, i.e. the proportional relationships of forms during the process of growth and evolution. Alexander and Macnab already addressed the geometry of living structures in a different way. They look for a set of characteristics, in order that together they can reproduce the geometric identity of

living structures. The big difference between the two is that Alexander argued that the identity of something is inseparable from the process as this generates, while Macnab interprets the identity of living structures as a set of geometric qualities additions. It will be Alexander characteristics set more complete than the others? Its set of geometric characteristics already includes in general, the geometric characteristics of other references. This means that the interpretation of geometric characteristics through a growth process, already encompasses concerns of identity and variation by diversification (figure 4).

Figure 1
Digital
Morphogenetic. 1)
Medusa 2 - Neri
Oxman (left), 2)
Hygroscope - Achim
Menges (right).

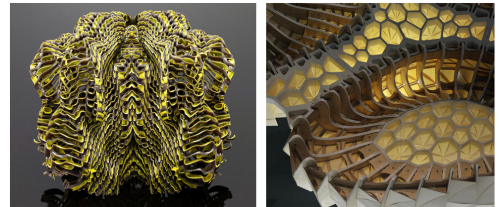


Figure 2
Living architecture /
metabolic process. 1)
Protocells - Rachel
Armstrong (left). 2)
Turning dunes into
architecture -
Magnus Larsson
(right).

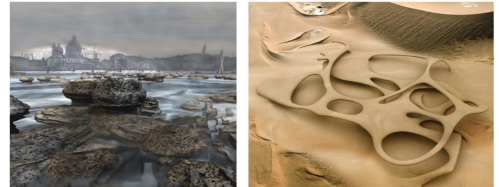


Figure 3
Living architecture /
living material. 1)
Fab tree house -
Joachim Mitchell
(left). 2) Auerworld
Palace - Sanfte
Strukturen (right).



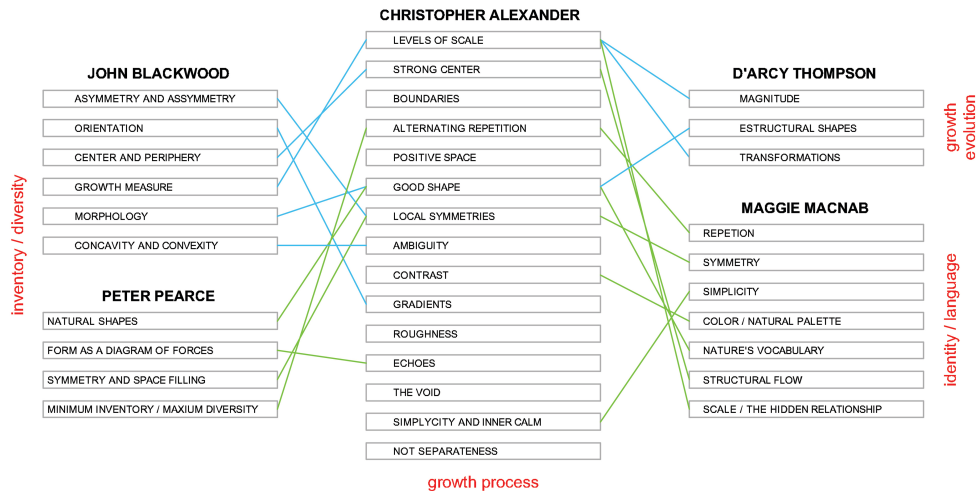


Figure 4
Author's geometric characteristics.

RESULTS

Design process _ Geometrical characteristics

Being one of the research goals, the generation of architectural models with the geometric qualities of living structures identity, this intention will require a generation process that allows to create a wide range of shapes with the same geometric identity. According to Alexander, the phenomenon of life do it, but the geometric characteristics that his identity imposes only emerge in the structures if they are generated by growth mechanisms. Therefore, it seems clear that the adopt design process to generate models with the identity of living structures, one should support the geometric features inherent to the growth process of the same. Which are the structural requirements evidenced by the growth phenomenon? Growth always begins with something that expands and never ceases to be an integral part of the environment that contains it. It is, therefore, a process which comprises at least three parameters: origin, expansion and connection (figure 5).

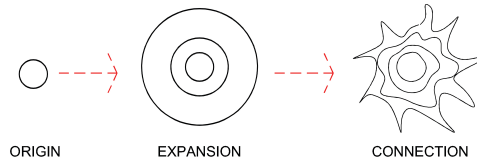
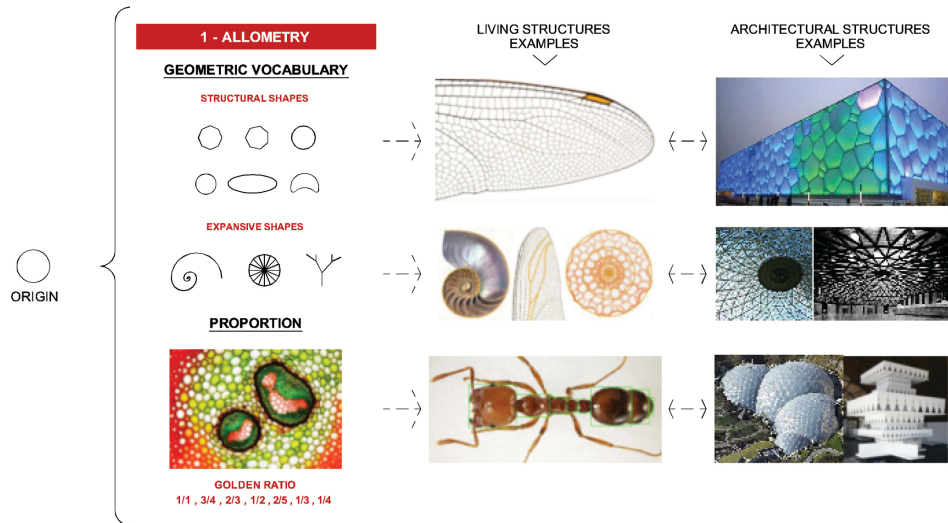


Figure 5
Three structural particularities of growth process

Which particularities of formal design are associated with each of these parameters? The origin, regardless of its geometric configuration, is always the source of all the information that will give body to the structure. It will define the morphological character of the structure as well as the relations that need to exist between the elements given a particular purpose of structural cohesion. Therefore, the geometric characteristics associated with the origin, include the definition of a geometric vocabulary and the definition of the proportions ratios for the elements of the vocabulary and which are approached under the theme allometry (figure 6). The expansion, in turn, focuses on how the reproduction of the origin takes place and on the cohesive way in which this reproduction propagates in space. This requires as geometric characteristics the repetition and the gener-

Figure 6
Origin geometrical characteristics. 1) Geometric vocabulary - All living structure result from a combination between structural shapes and expansive shapes. 2) Proportion - The proportion ratio between adjacent elements have to reflect harmonious variations.



ator center, and this is approached under the theme structural expansion (figure 7). Finally, the connection focuses on how the structures work with the surrounding environment, in order to become an integral part of it. Therefore, the geometric characteristic associated with the connection, is the union and it is discussed under the topic of spatial integration (figure 8).

Design process _ shape generation

How is made the transfer of these geometric characteristics to the design process? By creating rules described with the graphic and algebraic languages of shape grammars (Stiny, 2008). This grammar will divide the shape generation process in four distinct phases: global rules, shape delimitation rules, local rules and spatial rules, each one with its own rules. It must be pointed out further that the elaborate grammar is a parametric grammar. This means that the rules must be interpreted by geometric parameters and not by the dimensional accuracy of their geometry in the graphic description of them.

Shape grammars rules

Global rules - Living structures proliferate in space by growth levels. They are so important in the geometric composition of the shapes that all structural elements are organized by their rules. This suggests that growth levels play an important structural basis role. Thus, it seems important and clear that the first phase of the design process is intended to generate a structural basis where will be referenced all the following phases. Therefore, global rules define the structural basis rules. They control the proportional relationship of the shapes as well the proportional variations between the structural elements which embody the shapes. The rules developed to this phase will only contemplate wave expansion (figure 9).

Shape delimitations rules - These rules are based on the union geometrical characteristics of the living structures growth mechanisms. Their purpose is to generate irregular shapes contour over the structural basis, able to reveal the multi diverse connectivity of the union principles. For this operation a guide mesh of points is introduced over the expansion lev-

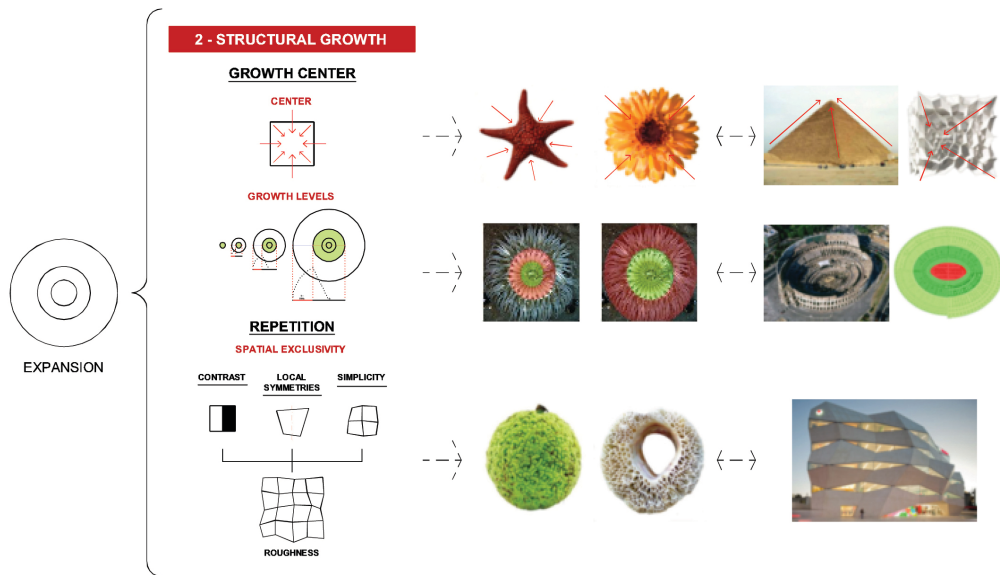


Figure 7
Structural Growth geometrical characteristics. 1) Growth center - Living structures are generated from a center through growth levels. 2) Repetition - The structural composition result from the repetition of elements with spatial exclusivity.

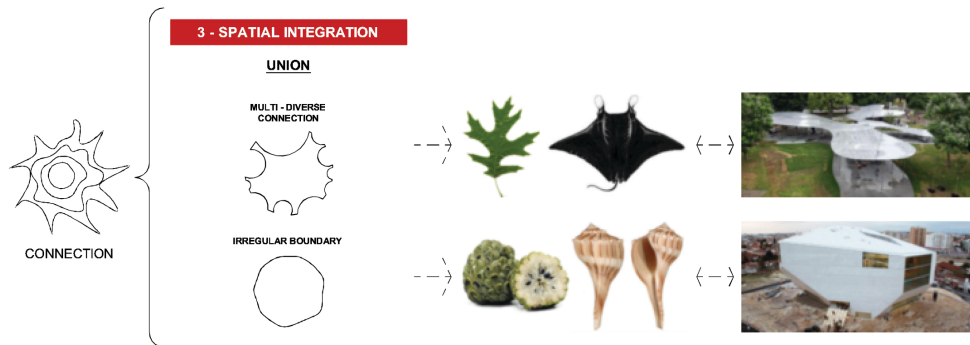
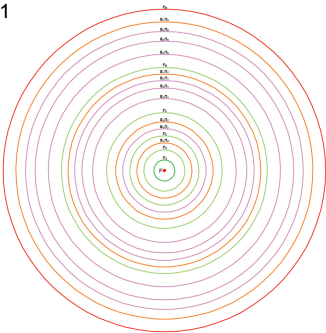


Figure 8
Connection geometrical characteristics. 1) Union - The connection with the surround require irregular limits with multi-diverse irregularities.

Figure 9
Shape generation
design process.
Examples of some
grammar rules in
each phase.

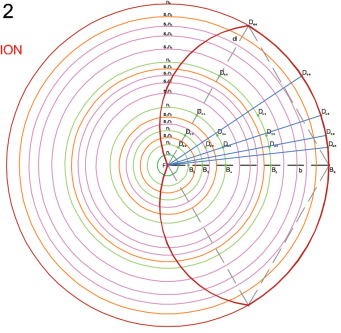
PHASE 1
GLOBAL
RULES



GR1 $(x,y) \Rightarrow \textcircled{F} n_1$

GR3 $\textcircled{n_i} \Rightarrow \textcircled{n_i} n_{i+1} \quad \begin{matrix} m_{i+1} = 2/3(m_i + n_i) + m_i \\ i \in \mathbb{N} \\ i > 1 \end{matrix}$

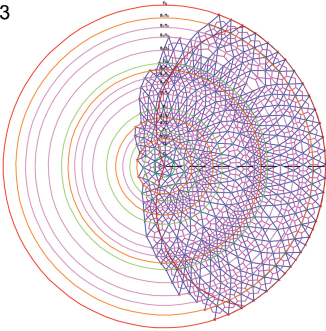
PHASE 2
SHAPE
DELIMITATION
RULES



SDR1 $\textcircled{F} n_1 \Rightarrow \textcircled{F} n_1 \quad \begin{matrix} u^0 = 45^\circ, 60^\circ, 65,5^\circ, \\ 90^\circ, 120^\circ, 135^\circ \end{matrix}$

SDR6 $D_{ij} \Rightarrow D_{ij} D_{ij+1} \quad \begin{matrix} D_{i,j} = (m_i \text{sen } u^0; m_i) \\ D_{i,j+1} = (m_i \text{sen } u^0; m_{j+1}) \\ i \geq 2; j \geq 3; j > i \\ i, j \in \mathbb{N} \end{matrix}$

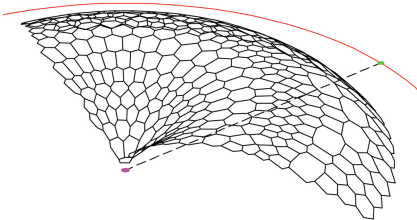
PHASE 3
LOCAL
RULES



LR1 $\textcircled{n_1} F \Rightarrow \textcircled{n_1} F \quad \begin{matrix} N^0 \text{ de } P = (4 + y) \\ y \in \mathbb{N} \\ y = 1, 2, 3, 4, 5 \end{matrix}$

LR3 $\textcircled{n_1} \Rightarrow \textcircled{n_1} \quad \begin{matrix} \text{Diagram showing a triangle with points } F, n_1, n_{i+1} \end{matrix}$

PHASE 4
SPATIAL
RULES



RE8 $\textcircled{F} n_1 \Rightarrow \textcircled{F} n_1 \quad \begin{matrix} R_x = (FR_x \cos \alpha; FR_x \sin \alpha) \\ R_{x+} = (FR_{x+} \cos \alpha; FR_{x+} \sin \alpha) \\ i \geq 4; x \geq 1 \\ i \wedge x \in \mathbb{N} \end{matrix}$

RE11 $\textcircled{F} n_1 \Rightarrow \textcircled{F} n_1 \quad \begin{matrix} R_x = (FR_x \cos \alpha; FR_x \sin \alpha) \\ i \geq 4; x \geq 1 \\ i \wedge x \in \mathbb{N} \end{matrix}$

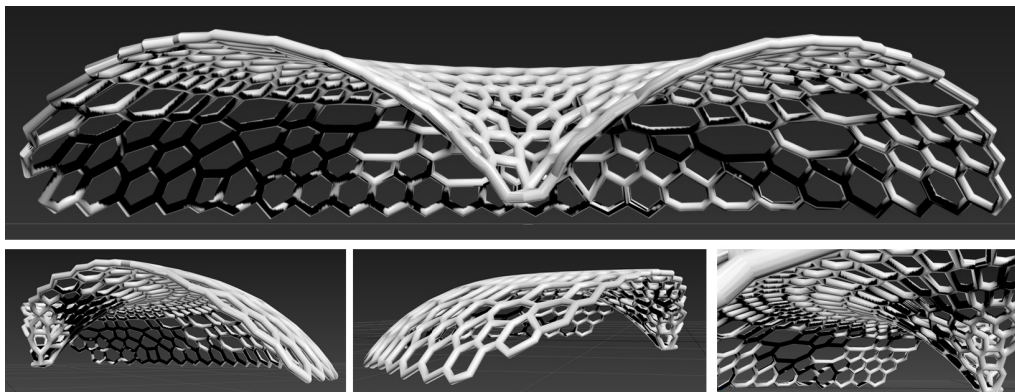


Figure 10
Example of a
bidimensional
geometric
composition
transferred to a
torus surface.

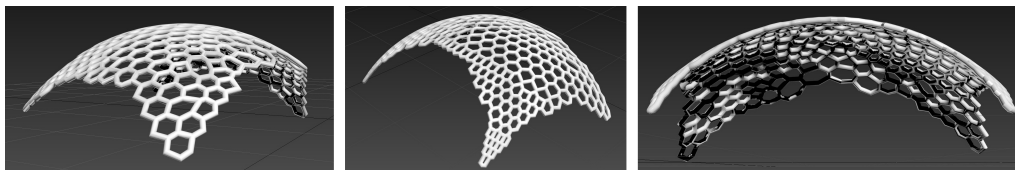


Figure 11
Example of a
bidimensional
geometric
composition
transferred to a
sphere surface.

els rings. These points will be the contour guide reference of shapes. The union of the selected points will be made by concave or convex lines in order to increase the shape connectivity with the environment (figure 9).

Local rules - These rules correspond to the shape materialization stage. It is the stage where the physical structure is generated. These rules will generate the structural shapes of the geometric composition one by one, from the geometrical qualities of the initial shape. To generate these shapes is applied the voronoi diagram concept. To simplify the generation process of structural shapes, this grammar only contemplates the use of polygonal shapes (figure 9).

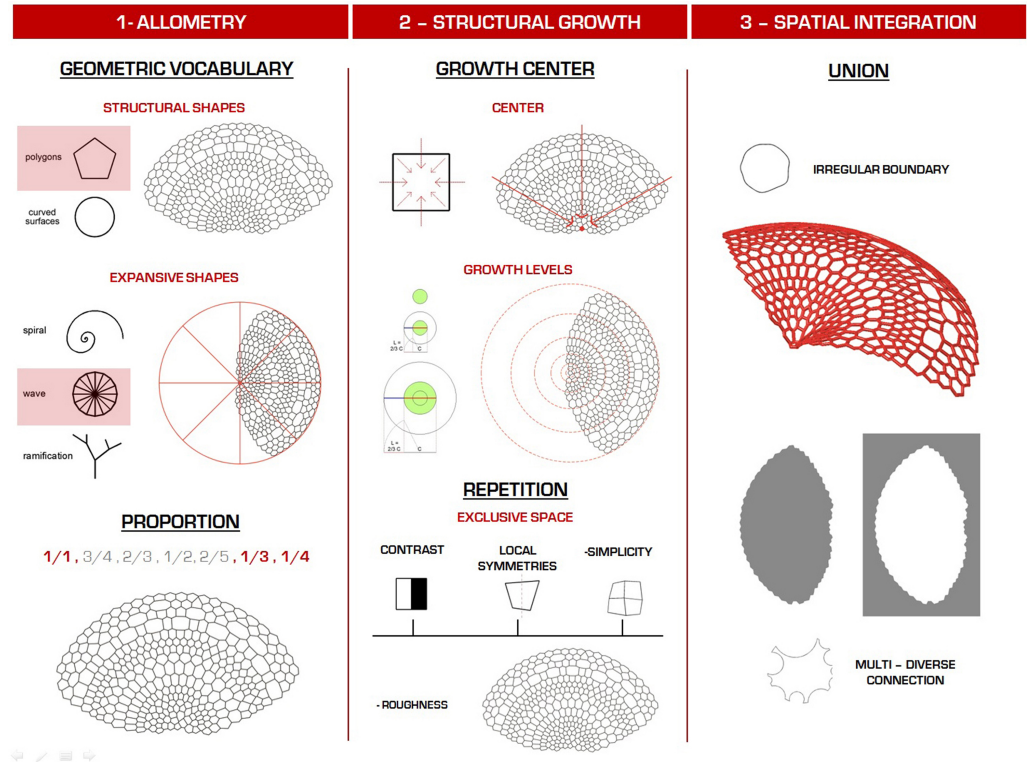
Spatial Rules - The purpose of these rules is to transfer the two dimensional geometric composition defined in phase 3, to a curved surface in space. Two geometric surfaces are used as the basis for this transfer, the torus and the sphere. Both surfaces share the main structure quality of the geometrical composi-

tion, the expansion from a center. Thus, the surfaces centers will be the base reference to transfer the bidimensional composition into space. The concavity of these curved surfaces allows enclose internal space. This particularity gives to these compositions a structural purpose of "shelter", which enables the human occupation (figure 9, 10 and 11).

Validation

The design process proposed, generate shapes whose structural composition reflects the geometrical characteristics identified as crucial to the growth mechanism of living structures. The shape structural elements reveal the same geometric familiarity. All are polygons. These polygons are distributed by the structural composition through an expansive shape (wave). The proportion ratios between them also respect the scale variations of harmonious proportions. The structural composition is generated from a center through growth levels. The composition is struc-

Figure 12
Validation schema.



tured through the repetition of familiar geometrical elements with spatial exclusivity qualities. They do not share anything with other shapes or elements. They are clear, simple and irregular. The resulting spatial exclusivity of the combination of all the elements reveals a vibrant geometrical pattern (roughness). The shapes union with the environment is strong. They contain boundaries with a large diversity of connection with the environment. The result is a strong "friction" between shapes and environment. The result of combining all these features in one structure only, is compact, cohesive and non uniform shapes. So, the geometric design process proposed, respond positively to the challenge of being

able to generate a wide range of geometric shapes with the same identity and to the challenge of generate shapes that reveals a geometric pattern more similar to the ones existing in the living structures.

CONCLUSIONS

This investigation shows through a geometrical design process that is become necessary to change the design process for the architecture start to demonstrate simultaneously in the same geometric composition, the geometrical characteristics of living structures identity that Alexander advocates as crucial to the architectural quality in terms of spatial integration of the shapes in the natural surroundings. The

major change is the interpretation of shape generation through a perspective of growth mechanisms. These mechanisms require that the shape generation be always made from the geometric qualities present in the geometric composition before each transformation. This fact shows the crucial role of each element in the geometric composition and in its cohesion. So in ecological terms, what can be deduced from growth mechanisms is that these are crucial in the optimization of structural elements, because its generation requirements only use the necessary elements to its composition, without leftover elements. So, it is important to pass for community that the growth mechanism have an important role in the structure optimization and inform others researches lines which operate in the ecological pattern for this fact. The idea is to see how this information can influence their optimization goals and how their results, may in turn, influence this research. In terms of architecture, the geometrical design process developed reveal that is able, only in geometric essence, to generate space for human activities through a diverse range of shapes that reveal the geometrical characteristics of the living structures identity identified. Right now, the design process only explores the spherical and the torus surface. The idea is to add in the future more complex surfaces which allow exploring different types of architectural spaces. In this stage of the investigation, the models generated through the chosen surfaces give the idea of portable "shelters", but the generation process cannot be restricted only to that, because these geometric compositions can be influenced by scale. So, this design process suggests that scale can diversify the applications in the architectural field, which shows how versatile it can be for architecture and for all the design in general.

REFERENCES

Alexander, Christopher 2001, *The nature of order: An essay on the art of building and the nature of the universe*, The center for environmental structure, California

- Armstrong, Rachel 2012, *Living architecture: How synthetic biology can remake our cities and reshape our lives*, Ted Books, New York
- Blackwood, John 2012, *Geometry in nature: Exploring the morphology of natural world through projective geometry*, Floris Book, Edinburgh
- Hensel, Michael, Menges, Achim and Weinstock, Michael 2006, *Architectural Design: Techniques and technologies in morphogenetic design*, John Wiley & Sons, London
- Loehle, Craig 2004, 'Challenges of ecological complexity', *Ecological complexity*, 1, pp. 3-6
- Macnab, Maggie 2011, *Design by nature: Using universal forms and principles in design*, New Readers, Berkeley
- Menges, Achim 2012, *Architectural Design: Material computation, higher interaction in morphogenetic design*, John Wiley & Sons, London
- Okabe, Atsuyubi, Boots, Barry, Sugihara, Kokichi, Chiu, Sung Nok and Kendal, D.G. 2008, *Spatial tessellations: Concepts and applications of voronoi diagrams*, John Wiley & Sons, New Jersey
- Oxman, Neri 2010, *Material-based design computation*, Ph.D. Thesis, MIT
- Pearce, Peter 1978, *Structure in nature is a strategy for design*, The MIT Press, Cambridge
- Stiny, George 2008, *Shape: Talking about seeing and doing*, The MIT Press, Cambridge
- Thompson, D'arcy Wentworth 1992, *On growth and form: the complete revised edition*, Dover Publications, New York
- [1] <http://tedxproject.wordpress.com/2010/04/15/magnus-larsson-turning-dunes-into-architecture/>
- [2] <http://www.archinode.com/fab-tree-hab.html>
- [3] <http://www.sanftestrukturen.de/Weidenbau/Weidenbau.html>